

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Posouzení různých typů pohonů kráčení na napájecí  
soustavu velkostrojů**  
**Review of Various Types of Stepping Drives from  
View of Power Supply Network for Giant Machines**

2012

Petr Essler

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Essler**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Posouzení různých typů pohonu kráčení na napájecí soustavu  
velkostrojů  
Review of Various Types of Stepping Drives from View of Power  
Supply Network for Giant Machines

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakterizujte a popište základní problematiku napájení velkostrojů
3. Porovnejte a popište kráčivý a housenicový podvozek
4. Rozeberte vliv jednotlivých druhů podvozku z pohledu napájení na síť
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, VŠB-TUO, Ostrava, 2008
2. ČSN normy a technická dokumentace
3. Literatura podle pokynů vedoucího bakalářské práce


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty



### Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“



Petr Essler

Datum odevzdání: 17.08.2012

### Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Petru Kačorovi Ph.D. za odborný dohled, cenné připomínky, ochotu, čas a trpělivost, které mi věnoval při tvorbě této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je porovnání dvou rozdílných pohybových systémů velkostrojů, které pracují v Severočeských dolech, a. s.. Úvodní část se zabývá problematikou napájení velkostrojů a technologických zařízení pro přepravu vytěženého materiálu v prostředí povrchového uhlénoho lomu. Je zde také popsána distribuce elektrické energie v povrchovém lomu. V další části jsou podrobněji popsány pohybové systémy porovnávaných velkostrojů. Pro možnost posouzení zpětných vlivů jednotlivých druhů podvozků na napájení na síť bylo provedeno měření pomocí analyzátoru sítě za chodu velkostroje. Výsledky těchto měření jsou zobrazeny v jednotlivých grafech. V závěru jsou shrnuty výsledky měření a konečné srovnání pohybových systémů.

## **Klíčová slova**

Distribuce elektrické energie, napájení velkostrojů, úbytek napětí, harmonické vyššího řádu, elektromagnetická kompatibilita,

## **Abstraction**

The aim of this bachelor work is comparison of two different kinetic systems of giant mining machines operated by “Severočeské doly, a.s.” Introductory part deal with the issues power supply of giant mining machines and technological equipment for mined material transport at environment in opencast mine. There is as well described power energy distribution at opencast mine. In the next part are described in details kinetic systems compared giant mining machines. Measurement using electrical power network analyser unit has been performed during giant mining machines operation for occasion to explore backward influence various kind of undercarriage power supply for electrical power network. The results of these measurements are displayed in separated graphic charts. At conclusion are summarised measurements results and final kinetic systems comparison.

## **Key words**

Power energy distribution, power supply of giant mining machines, drop of potential, higher order harmonics, electromagnetic compatibility.

## Seznam zkratk

$I$	proud (A)
$I'_{k0}$	minimální hodnota počátečního rázového souměrného zkratového proudu(A)
$I_p$	činný proud(A)
$I_Q$	jalový proud(A)
$P$	činný výkon (W)
$P_i$	instalovaný výkon (W)
$P_p$	výpočtové zatížení (W)
$P_x, \dots, P_n$	součet jmenovitých výkonů ve skupině x až n (kW)
$Q$	jalový výkon (var)
$R$	činný odpor ( $\Omega$ )
$R_s$	reálná složka impedance elektrizační soustavy ( $\Omega$ )
$S$	zdánlivý výkon (VA)
$U$	napětí (V)
$U_s$	sdružené napětí
$U_n$	napětí harmonické (V)
$X$	reaktance ( $\Omega$ )
$X_s$	imaginární složka impedance elektrizační soustavy ( $\Omega$ )
$\cos \varphi$	účinník (-)
$f_n$	kmitočet harmonické (Hz)
$n$	řád harmonické (-)
$p$	činitel zatlumení (-)
<b>nn</b>	nízké napětí
<b>vn</b>	vysoké napětí
<b>vvn</b>	velmi vysoké napětí
$\beta_s$	součinitel náročnosti (-)
$\beta_x, \dots, \beta_n$	součinitelé náročnosti jednotlivých skupin x až n z „tabulky 1“
$\eta$	účinnost spotřebiče
$\varphi$	úhel posunu mezi vektorem napětí a vektorem proudu

## Seznam zkratek názvů

<b>ČR</b>	Česká republika
<b>DNT</b>	Doly Nástup Tušimice
<b>DT</b>	distribuční trafostanice
<b>EMC</b>	elektromagnetická kompatibilita
<b>EU</b>	Evropská unie
<b>KV</b>	kabelový vůz
<b>SD</b>	Severočeské Doly
<b>S 1</b>	1. skrývkový řez
<b>S 2</b>	2. skrývkový řez
<b>S 3</b>	3. skrývkový řez
<b>S vůz</b>	shazovací vůz
<b>TC</b>	technologický celek
<b>THD</b>	celkové harmonické zkreslení
<b>TR</b>	transformační rozvodna
<b>TSN</b>	transformátorová stanice napětí
<b>ÚDUT</b>	ústřední drtírna uhlí Tušimice

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	9
<b>2</b>	<b>Základní problematika napájení velkstrojů</b>	10
2.1	Technologická zařízení v povrchových dolech	10
2.2	Napěťové soustavy používané pro technologická zařízení	11
2.3	Elektroenergetická bilance	11
2.4	Elektroenergetická rozvodná zařízení v povrchových dolech	12
2.4.1	<b>Elektrická vedení pro technologická zařízení</b>	12
2.4.1.1	Venkovní vedení	13
2.4.1.2	Kabelová vedení	13
2.4.2	<b>Dimenzování elektrických vedení</b>	14
2.4.3	<b>Druhy rozvodu elektrické energie pro technologická zařízení</b>	15
2.4.4	<b>Elektrické stanice</b>	16
2.5	Zásady volby silnoproudého rozvodu	17
2.5.1	<b>Volba podle prostředí</b>	17
2.5.2	<b>Volba podle zatížení</b>	17
2.6	Zkratové proudy	19
2.6.1	<b>Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách (AC)</b>	19
2.7	Kompenzace	19
2.7.1	<b>Kompenzace jalové energie</b>	19
2.7.2	<b>Kompenzace zemních kapacitních proudů</b>	20
2.7.3	<b>Kompenzace napěťové nesymetrie</b>	20
2.8	Kvalita elektrické energie	21
2.8.1	<b>Základní definice parametrů napětí</b>	21
2.8.2	<b>Kolísání napětí</b>	23
2.8.2.1	Kolísání napětí způsobené průmyslovým zařízením	24
2.8.2.2	Výpočet relativních změn napětí	24
2.8.3	<b>Harmonické a mezipharmonické</b>	25
2.8.3.1	Harmonické vyšších řádů v průmyslových sítích	25
2.8.3.2	Výpočet harmonických vyšších řádů napětí u průmyslových zařízení	25
2.8.3.3	Výpočet činitele zkreslení napětí $k_z$ , způsobeného připojovaným průmyslovým zařízením	26
2.8.4	<b>Účinník <math>\cos \varphi</math></b>	27



2.9	Distribuce elektrické energie v Severočeských Dolech, a.s. na těžební lokalitě DNT..	29
2.9.1	<i>Napájecí body povrchového dolu</i> .....	29
2.9.2	<i>Pátevní napájecí soustava</i> .....	29
2.9.3	<i>Distribuce napětí do prostoru povrchového dolu</i> .....	29
2.9.4	<i>Distribuce k jednotlivým zařízením povrchového dolu</i> .....	30
2.9.5	<i>Napájení porovnávaných zakladačů</i> .....	31
2.9.6	<i>Napájení ZP 6800.1/100</i> .....	31
2.9.7	<i>Napájení ZPDH 6300</i> .....	33
<b>3</b>	<b>Porovnání a popis kráčivého a housenicového podvozku</b> .....	35
3.1	Zakladač ZP 6800.1 - kráčivý podvozek .....	35
3.1.1	<i>Hydraulický systém kráčení</i> .....	37
3.2.	Zakladač ZPDH 6300 - housenicový podvozek .....	41
3.1.2	<i>Hlavní housenicový podvozek</i> .....	41
<b>4</b>	<b>Vliv jednotlivých druhů podvozků z pohledu na napájecí síť</b> .....	44
4.1	Měření na ZP 6800 a ZPDH 6300 .....	44
4.1.1	<i>Popis a způsob měření</i> .....	44
4.1.2	<i>Základní technické údaje a rozsah měření</i> .....	45
4.2	Naměřené hodnoty .....	47
4.2.1	<i>Odebíraný výkon</i> .....	47
4.2.2	<i>Úbytek napětí</i> .....	48
4.2.3	<i>Harmonické vyšších řádů</i> .....	49
4.2.3.1	<i>Měření na ZP6800</i> .....	49
4.2.3.2	<i>Měření na ZP6300</i> .....	54
4.2.4	<i>Účinník <math>\cos \varphi</math></i> .....	59
4.3	Porovnání naměřených hodnot .....	60
<b>5</b>	<b>Závěr</b> .....	61
	<b>Seznam použité literatury</b> .....	62

# 1 Úvod

Severočeské doly a.s. jsou významným dodavatelem hnědého uhlí pro tepelné elektrárny v severočeském regionu. Jednou z částí Severočeských dolů a.s. jsou Doly Nástup Tušimice.

Jedná se o povrchové doly jejichž roční těžba činí okolo 13,5 mil. tun  $\text{m}^3$ , jednoúčelového hnědého energetického uhlí. Na skrývce je roční těžba cca 26,5 mil. tun  $\text{m}^3$  nadložních zemin.

Pro dobývání hnědého uhlí je potřeba nejdříve skrýt nadložní zeminy, které jsou odkrývány pomocí rypadel KU 800, SchRs 1550 a SchRs 1320. Tato zemina je přepravována dálkovou pásovou dopravou a pomocí zakladačů ZP 6800.1, ZP 6600 a ZPDH 6300 je zakládána na výsyvky. Po odkrytí nadloží je těženo vlastní hnědé uhlí. K jeho těžbě jsou používána rypadla KU 300 S a K 800 N. Uhlí je drceno a dopravováno na homogenizační skládku, kde je míseno aby dosahovalo požadovaných parametrů a následně dopravováno opět pásovou dopravou do elektrárny Tušimice II nebo do nakládacích zásobníků pro kolejovou přepravu k dalšímu odběrateli.

Tato bakalářská práce se zabývá velkostrojí používanými k zakládání skrývaného materiálu na výsyvky tzv. zakladači, konkrétně zpětným vlivem na napájecí síť v závislosti na pohybovém systému. Na DNT pracují velkostroje, které ke svému pohybu používají dva typy pohybových soustav. Jedním z velkostrojů je zakladač ZP 6800.1, jehož pohybovou soustavu tvoří hydraulický podvozek a velkostroj se přemisťuje kráčivým způsobem. Druhým z posuzovaných zakladačů je stroj ZPDH 6300, který je vybaven pásovým podvozkem.

U každého pohybového systému je možné najít výhody a nevýhody jednak v oblasti možností samotného provozu, údržby a také v oblasti zpětných vlivů na napájení na síť.

Cílem bakalářské práce je posoudit zpětné vlivy různých typů pohybových soustav velkostrojů na napájecí síť velkostroje.

V teoretické části této práce bude popsána základní problematika napájení velkostrojů. Velkostroje jsou zapojeny na konci dlouhého kabelového vedení a vzhledem k odebíraným výkonům ovlivňují nepříznivě napájecí napěťovou soustavu, což může mít vliv na funkci jeho zařízení.

Další část bakalářské práce se bude věnovat charakteristice jednotlivých typů pohonů.

Poté bude nasimulován přesun u obou typů velkostrojů a pro posouzení zpětných vlivů pohybových soustav na napájecí síť, bude provedeno měření, pomocí analyzátoru sítě, za chodu velkostroje. Výsledky provedených měření budou zobrazeny v jednotlivých grafech.

V závěru jsou shrnuty výsledky měření a konečné srovnání pohybových systémů.

## 2 Základní problematika napájení velkostrojů

### 2.1 Technologická zařízení v povrchových dolech

Technologická zařízení v uhelném lomu mohou být z hlediska jeho hlavní výrobní činnosti tato:

- a) technologická zařízení, která tvoří technologický celek (TC) pro dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot;
- b) doplňková a pomocná mechanizace pro TC;
- c) technologická zařízení měnících, zajišťujících stejnosměrnou elektrickou energii pro kolejovou elektrickou trakci;
- d) vodohospodářská technologická zařízení (čerpací stanice důlních vod, odvodňovací vrty apod.);
- e) technologická zařízení opravárenská a údržbářská;
- f) ostatní zařízení, která nevykonávají hlavní výrobní činnost uhelného lomu, ale jsou pro tuto činnost nezbytná (administrativní, správní a sociální objekty, kuchyně apod.). [4]

V provozu jednotlivých uhelných lomů mohou být nasazeny různé kombinace velkostrojů a šíře pásové dopravy, vytvářející technologický celek (TC) pro zajištění požadovaného úkolu hlavní výrobní činnosti uhelného lomu. [4]

Energetickou náročnost technologických zařízení v uhelném lomu lze stanovit až po získání údajů o maximálních příkonech a instalovaných výkonech jednotlivých technologických zařízení v uhelném lomu. Energetická náročnost závisí na druhu a konfiguraci technologického celku, délce a počtu sekcí pásové dopravy zajišťujících dobývání, přepravu a zakládání těžných hmot. [4]

Údaje o energetické náročnosti lze zjistit z technických podmínek technologických zařízení výrobce na základě báňského řešení uhelného lomu. [4]

Za účelem stanovení výpočtového zatížení, lze uvažovat s těmito středními hodnotami součinitele náročnosti  $\beta_s$  pro: [4]

- a) technologická zařízení uhelného lomu jako celku -  $\beta_s = 0,50$ ;
- b) pomocné nevýrobní provozy  
(dílny, kuchyně, administrativní a sociální objekty apod.) -  $\beta_s = 0,30$ .

Výpočtové zatížení TC pak bude: [4]

$$P_p = \sum \beta_s \cdot P_i \quad (2.1)$$

## 2.2 Napěťové soustavy používané pro technologická zařízení

Při rozhodování o volbě použití napěťové soustavy 22 kV, 50 Hz AC nebo 35 kV, 50 Hz AC, je nutno přihlédnout ke stávajícímu rozvodnému zařízení. [2]

Používané napěťové soustavy pro napájení technologických zařízení jsou:

- 110 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony nad 40 MVA;
- 35 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 20 MVA až 25 MVA;
- 22 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 15 MVA až 18 MVA;
- 6 kV, 50 Hz AC tam, kde lze předpokládat příkony 2,5 MVA až 10 MVA. [2]

Používané napěťové soustavy pro napájení jednotlivých pohonů technologických zařízení jsou:

- 6 kV, 50 Hz AC;
- 500 V, 50 Hz AC;
- 400/230 V, 50 Hz AC;
- 690 V, 50 Hz AC;
- 1500 V DC. [2]

## 2.3 Elektroenergetická bilance

Elektroenergetická bilance (elektroenergetická rozvaha) uhelného lomu zahrnuje oblast energie stejnosměrné a oblast energie střídavé.

Bilance stejnosměrné energie (též dopravně-energetická rozvaha) se stanoví na základě virtualizace elektrizovaných dopravních důlních tratí pro přepravu těžných hmot z řezů lomu na etáže výsypky nebo v případě uhlí do úpravny apod., dále dle doby jízdy prázdných nebo plných vlakových souprav a podle celkového přepravovaného množství těžných hmot za určitou dobu (zpravidla za rok).

Bilanci se stanoví celkový maximální a střední stejnosměrný elektrický výkon, přepočítaný na střídavý elektrický výkon na primární straně měnírny, spotřebu stejnosměrné elektrické energie včetně přepočtu na střídavou elektrickou energii. Bilance stanoví potřebný výkon měnírny včetně velikosti jisticích prvků na vývodech a přívodech měnírny.

Bilance střídavé energie se stanoví na základě údajů o nasazených technologických zařízeních v uhelném lomu, případně úpravně, třídírně, drtírně, čerpacích stanic apod., tj. o elektrických výkonech instalovaných, současných a maximálních, o době provozu těchto zařízení (zpravidla za rok) a o celkovém množství těžných hmot, množství čerpané vody apod.

Bilancí se stanoví celkový maximální a střední elektrický výkon, ke kterému se připočtou výsledky bilance stejnosměrné energie. Bilance stanoví potřebný výkon transformovny (rozvodny) včetně velikosti jisticích prvků na vývodech a přívodech transformovny (rozvodny).

## **2.4 Elektroenergetická rozvodná zařízení v povrchových dolech**

### **2.4.1 Elektrická vedení pro technologická zařízení**

Pro venkovní vedení se používají vodiče AlFe se zatěžováním podle ČSN 33 2000-5-523. [4]

Pro technické provedení stabilních venkovních vedení platí ČSN EN 50341-1 (33 3300) a ČSN 33 3301 a pro přesuvná venkovní vedení platí NPD 31-3-31. [4]

V rozvodech elektrických vedení v uhelných lomech se používají přesuvné spínací skříně, odpojovací skříně a spojovací skříně podle NPD 31-3-33. [4]

Pro stanoviště spínacích a transformačních kiosků a přesuvných transformoven platí NPD 31-5-51. Umístění stanoviště spínacích kiosků, přesuvných transformoven a transformačních kiosků, je nutno řešit s ohledem na báňské, vodohospodářské a dopravní řešení v uhelném lomu. Plochy stanovišť pro umístění uvedených elektrických rozvodných zařízení musí být situovány tak, aby se zabránilo zaplavování stanoviště vodou při přívalových deštích apod.. Příjezdové komunikace ke stanovištím se navrhují v souladu s používanými mechanizmy a velikostí dopravních prostředků.

Trasy venkovních vedení se volí tak, aby umožňovaly pohyb mechanizačních prostředků při pracích na technologickém zařízení (např. pohyb autojeřábů podél pásové dopravy apod.). [4]

Trasy venkovních vedení nesmí být vedeny prostorem poháněcí stanice pásového dopravníku a podobnými exponovanými místy. [4]

Je doporučeno použít v maximální míře pro napájení všech odběrných míst uhelného lomu venkovních vedení. Pevné trasy technologických zařízení je možno řešit venkovním vedením stabilním. Pro stabilní venkovní vedení do 35 kV, 50 Hz AC platí ČSN 33 3301. Některé proměnné trasy technologického zařízení je možno vybavovat venkovním vedením přesuvným. Pro přesuvné venkovní vedení do 35 kV, 50Hz AC platí NPD 31-3-31. [4]

Pevnými trasami se rozumějí např. odtahové pásové dopravní linky apod. [4]

Při návrhu použití venkovních vedení přímo v řezech nebo na jednotlivých lávkách výsypky je nutno z báňských postupů znát, zda-li nebude z jedné plošiny provozován spodní i vrchní řez anebo sypání vrchní i spodní lávky. [4]

V těchto případech nemůže být stabilní venkovní vedení použito a musí být instalováno kabelové přesuvné vedení doplněné o patřičný počet kabelových vozů konfigurujících s příslušným velkostrojem, které mají potřebnou kabelovou zásobu pro napájení velkostroje. Pro kabelové vedení platí NPD 31-3-32. [4]

Při stanovování průřezu vodičů venkovního vedení je výhodné používat v jedné těžební lokalitě uhelného lomu jen několik průřezů. Jednotnost v navržených průřezech usnadní zvláště u kabelových rozvodů vč. kabelových vozů operativní a zejména rychlou činnost údržby při provozních překládkách nebo při havarijních situacích na kabelových rozvodech pro technologické celky. Minimální průřez je stanoven zkratovými poměry v uhelném lomu a maximální průřez je určen konečnou podobou elektrické rozvodné sítě. [4]

Nejčastěji jsou využívány vlečné kabely o průřezech od 35 mm<sup>2</sup> do 185 mm<sup>2</sup> Cu. [4]

#### **2.4.1.1 Venkovní vedení**

V uhelných lomech je možné použít jednoduchá a dvojitá venkovní vedení na ocelových příhradových stožárech se stupňovitými betonovými základy a dále jednoduchá venkovní vedení na betonových podpěrách nebo na příhradových ocelových stožárech s hranolovými betonovými základy. Kromě toho jsou v prostoru lomu a výsypky či u odvodňovacích vrtů v předpolí lomu používána přesuvná venkovní vedení do 35 kV AC, která jsou přesouvána s technologickými zařízeními těžební techniky apod. [2]

Jako vodičů se používá zpravidla vodičů AlFe různých průřezů. [2]

#### **2.4.1.2 Kabelová vedení**

V uhelných lomech jsou používány dva typy kabelových vedení, a to kabelové vedení stálé a kabelové vedení pohyblivé (přesuvné). [2]

Kabelová vedení stálá se navrhují všude tam, kde se nebude jejich trasa dlouhodobě měnit. Kabelová vedení jsou tvořena zpravidla zemními kabely s celoplastovými plášti uloženými v zemi. Kabely mají různé průřezy Cu nebo Al. [2]

Kabelová vedení pohyblivá (přesuvná) se navrhují všude tam, kde se bude častěji měnit jejich trasa v závislosti na přemísťování technologického zařízení. Kabelová vedení jsou tvořena zpravidla šňůrami a vlečnými kabely s Cu jádry. Tato vedení jsou uložena na povrchu terénu. [2]

Při volbě trasy a způsobu uložení kabelů v trase je nutno respektovat prostorové uspořádání sítí různého technického vybavení, dále požadavky na mechanickou ochranu kabelů při křížování s komunikacemi nebo při křížování kabelů navzájem.[2]

## **2.4.2 Dimenzování elektrických vedení**

Výpočtové zatížení (výkon) stavebního objektu nebo celého uhelného lomu je dán součinem instalovaného výkonu tohoto objektu, nebo celého lomu a součinitele náročnosti, který je jako informativní veličina uveden v základním elektrotechnickém předpisu pro elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách (ČSN 34 1610). [2]

Při stanovení výpočtového proudu se vychází z výpočtového zatížení (výkonu) stavebního objektu nebo celého uhelného lomu, a to podle druhu soustavy elektrické energie, tj. stejnosměrné, střídavé jednofázové nebo trojfázové. [2]

Venkovní vedení nebo kabelové vedení se dimenzují podle výpočtového zatížení napájeného technologického zařízení a to v souladu s ČSN 33 2000-5-523, ČSN 34 1610 a NPD 31-3-32, podle následujících hledisek dimenzování: [4]

- hospodárnost - kabely a vodiče nemají být zatěžovány větším proudem než je proud hospodárný;
- mechanické namáhání - kabely a vodiče musí odolat mechanickému namáhání, kterému mohou být vystaveny při běžném provozu podle ČSN 33 3301;
- úbytek napětí - jednotlivé části rozvodu nesmí způsobit nedovolený pokles napětí na svorkách spotřebičů. Dovolený pokles napětí stanoví ČSN 34 1610. Není-li dovolený pokles předepsán, platí zásada, že v místě spotřebiče nemá být pokles napětí větší než 5 % jmenovitého napětí elektrické sítě;
- účinek zkratových proudů - kabely a vodiče musí odolat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů. Teplota vodičů a kabelů při zkratu nesmí překročit hodnoty uvedené v ČSN 33 2000-4-43. Výpočet zkratových proudů a výpočet vodičů a kabelů podle účinku zkratových proudů je uveden v ČSN EN 60909-0 (platnost normy od 1.5.2002).
- povrchová teplota - vodiče a kabely nemohou při normálním používání třeba i na krátkou dobu dosáhnout teplotu, která by přesahovala hranici uvedenou v ČSN 33 2000-4-42 (dosah rukou, jištění, nejvyšší dovolená teplota s ohledem na dané prostředí v prostoru).

Výpočtové zatížení vodičů a kabelů musí vycházet v souladu s ČSN 34 1610 a NPD 31-3-32 z instalovaného výkonu spotřebičů, jejich účinnosti, příp. součinitele náročnosti a musí respektovat způsob uložení vodičů a kabelů (zem, vzduch, kabelový buben apod.) a přepočítávací koeficient. Jištění vodičů a kabelů je nutno provést podle ČSN 33 2000-4-43. [4]

Zařízení rozvodu elektrické energie pro technologická zařízení v uhelných lomech musí svým provedením a krytím vyhovovat prostředí prostoru jejich umístění. Prostředí a požadované krytí je uvedeno v NPD 31-2-21. [4]

### **2.4.3 Druhy rozvodu elektrické energie pro technologická zařízení**

Již v projektové dokumentaci musí být stanoveny energetické koridory a prostory pro větší energetické uzly v rozsahu celého uhelného lomu. [4]

V každém návrhu je nutno uvažovat s rezervami a s možností rozšíření při dodržení bezpečných vzdáleností. [4]

Podle důležitosti jednotlivých technologických zařízení v uhelném lomu jsou dodávky elektrické energie ve smyslu ČSN 34 1610 stanoveny takto:

- dodávka 1. stupně - hlavní čerpací stanice;
- dodávka 2. stupně - hlavní výrobní technologická zařízení, úpravny a drtírny uhlí;
- dodávka 3. stupně - nevýrobní zařízení: administrativní, správní a sociální objekty, kuchyně apod.. [4]

Stanovení stupně důležitosti dodávky elektrické energie u nových technologických zařízení zajišťuje zpracovatel projektu, u rekonstruovaných technologických zařízení provozovatel (uživatel) tohoto zařízení. Zpravidla je elektrická síť navrhována tak, aby bylo zajištěno napájení jednoho technologického celku z jednoho napájecího vedení (bodu). Z hlediska rozvodu elektrické energie v uhelném lomu se jedná zpravidla o paprskový rozvod, kdy z hlavní tzv. vstupní elektrické stanice (tam, kde je fakturační měření pro nákup elektrické energie), která je stabilní elektrickou stanicí, jsou napájeny podružné elektrické stanice, které mohou být stabilní nebo přesuvné, podle toho, jak dalece jsou takovéto elektrické stanice předsunuty k technologickému zařízení. [4]

Pro napájení jednotlivých technologických celků se používají zdroje 35/6 kV nebo 22/6 kV těchto výkonů hlavních transformátorů: 4,0 MVA, 6,3 MVA a 10 MVA. [4]

Při návrhu napájení velkostrojů musí být dodržena možnost vypnutí každého velkostroje jednotlivě v jejich pracovním prostoru. Vlastní jištění (nikoliv odepnutí) lze vypustit v tom případě, je-li samostatné vypnutí možno zajistit z blízké rozvodny. [4]



Obdobným způsobem je možno postupovat v případě pásových vozů PVZ (zakládacích) a PVP (přesýpacích). Na začátku porubní fronty, resp. etáže výsypky je vytvořen pomocný napájecí bod pro usnadnění manipulace s kabelovými vozy velkostrojů. [4]

Napájení hlavní čerpací stanice musí být zajištěno dvěma nezávislými přívody (1. stupeň dodávky elektrické energie). Určení hlavní čerpací stanice provede vedení uhelného lomu v souladu s § 61 vyhlášky č. 26/1989 Sb. [4]

Provozní jednotky pomocné mechanizace, podružné čerpací stanice a ostatní zařízení nevýrobního charakteru v uhelných lomech, jsou napájeny samostatnými vedeními z napájecího bodu. Podle důležitosti jednotlivých provozoven nebo jednotlivých technologických zařízení jsou dodávky elektrické energie pro uhelné lomy, kromě napájení hlavních čerpacích stanic, zařazeny do 3. stupně, tj. mezi dodávky, při kterých nemusí být zajištěny zvláštními opatřeními. [4]

#### **2.4.4 Elektrické stanice**

V uhelných lomech se navrhují tyto typy elektrických stanic do 35 kV střídavého napětí (AC) 50 Hz a 1,5 kV stejnosměrného napětí (DC):

- transformovny a rozvodny do 35 kV (AC), 50 Hz:
  - stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou skříňové nebo kobkové, výjimečně tzv. stykačové rámy;
  - přesuvné - zpravidla na ližinách pro snadné přemísťování. Provedení je buď blokové (pro větší výkony), skládající se z několika samostatných funkčních částí (bloků), nebo kioskové (pro menší výkony), kde je v kiosku více funkčních částí;
- měnírny a rozvodny 1,5 kV ss (DC):
  - stabilní - zpravidla ve zděném objektu. Rozvodny jsou většinou skříňové;
  - přesuvné - zpravidla na podvozku železničního vozu. Rozvodny jsou skříňového provedení.

Stabilní elektrické stanice se navrhují v prostorech, které nebudou dotčeny těžební technologií.

Přesuvné elektrické stanice se navrhují v prostorech, které se budou těžební technologií často měnit.

## 2.5 Zásady volby silnoproudého rozvodu

### 2.5.1 Volba podle prostředí

Zařízení silnoproudých rozvodů do 35 kV AC musí svým provedením a krytím vyhovovat požadavkům, které jsou dány prostředím v uhelných lomech. [3]

Druhy a třídy vnějších vlivů je třeba protokolárně určit odbornou komisí jmenovanou u nových zařízení projektovou organizací a u zařízení již provozovaných provozovatelem. Součástí protokolu musí být rovněž určení druhu prostoru s ohledem na provedení ochrany před nebezpečím úrazu elektrickým proudem. [3]

### 2.5.2 Volba podle zatížení

Při volbě silnoproudého rozvodu v uhelném lomu se bere za základ výpočtové zatížení  $P_p$  (kW) a výpočtový proud  $I_p$  (A), přičemž se rozlišuje, zda jde o silnoproudý rozvod pro: [3]

- provozní celek;
- skupinu spotřebičů;
- jeden spotřebič.

Výpočtové zatížení pro provozní celek se určí ze vztahu :

$$P_p = P_i \cdot \beta \quad (2.2)$$

Vybraný objekt nebo provoz	Stupeň důležitosti dodávky elektrické energie	Střední hodnota součinitele náročnosti $\beta$	Střední hodnota účinníku $\cos\varphi$
údržbářské dílny	3	0,20	0,45
sklady			
uhelné lomy (jako celek)		0,50	0,60
sklárky uhlí		0,25	0,60
čerpací stanice		0,39	0,80
ČSOV		0,48	0,56
kotelny		0,40	0,55
garáže		0,48	1,00
úpravny uhlí (drtírna, třídírna, prádlo)	2	0,62	0,60
odvodňovací stanice	1	0,39	0,80

Tab. 2.1 Doporučené hodnoty veličin potřebných pro navržení optimálního rozvodu elektrické energie v uhelném lomu

Výpočtový proud pro provozní celek podle druhu spotřebičů se určí podle vztahu: [3]

a) trojfázové spotřebiče:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (2.3)$$

b) jednofázové spotřebiče:

$$I_p = \frac{P_p}{U \cdot \cos \varphi} \quad (2.4)$$

Výpočtové zatížení pro skupinu spotřebičů se určí ze vztahu: [3]

$$P_p = P_x \cdot \beta_x + \dots + \beta_n \cdot P_n \quad (2.5)$$

Výpočtové zatížení pro **jeden spotřebič** se určí ze vztahu: [3]

$$I_p = \frac{P_i}{\eta} \quad (2.6)$$

Výpočtový proud pro jeden spotřebič se určí ze vztahu: [3]

a) trojfázové spotřebiče:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (2.7)$$

b) jednofázové spotřebiče:

$$I_p = \frac{P_p}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{P_i}{U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (2.8)$$

Výpočtové zatížení a výpočtový proud pro jeden spotřebič, určený pro přerušovaný nebo krátkodobý chod nebo zatížení, se určí z jmenovitého proudu spotřebiče  $I_i$  (A) pomocí zatěžovacích konstant průběhu pracovního cyklu spotřebiče a časové oteplovací konstanty vodiče. [3]

U vodičů a kabelů určených pro spotřebiče s přerušovaným nebo krátkodobým chodem nebo zatěžováním se doporučuje stanovit průřez podle požadavku, aby odolávaly dynamickým a tepelným účinkům zkratového proudu. [3]

## **2.6 Zkratové proudy**

### **2.6.1 Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách (AC)**

Velikost zkratového proudu v libovolném místě trojfázové střídavé soustavy (maximální nebo minimální zkratový proud) závisí především na konfiguraci sítě, elektromotorech v provozu a dále na provozním stavu sítě před zkratem.

Výpočet zkratových impedancí vychází ze jmenovitých údajů elektrických zařízení. Výpočtem se zajišťují dva různé zkratové proudy, které se liší svou velikostí:

- maximální zkratový proud, který určuje zkratovou odolnost nebo jmenovité hodnoty elektrického zařízení;
- minimální zkratový proud, který může být základem, například: pro volbu pojistek, nastavení ochran a pro kontrolu rozběhu elektromotorů.

## **2.7 Kompenzace**

### **2.7.1 Kompenzace jalové energie**

Kompenzace jalové energie v uhelných lomech se provádí těmito způsoby: [3]

- kompenzace individuální – pevná hodnota kompenzačního výkonu pro jeden spotřebič;
- kompenzace skupinová – pevná hodnota kompenzačního výkonu pro skupinu spotřebičů;
- kompenzace centrální – proměnlivá hodnota kompenzačního výkonu pro celý uhelný lom. Tento druh kompenzace má zpravidla automatiku pro spínání a odpínání jednotlivých kondenzátorových jednotek baterie v závislosti na právě aktuálním stavu účinníku lomu. [3]

Proměnlivá hodnota kompenzačního výkonu se provádí i pro jeden spotřebič (například rypadlo).

Kompenzace individuální a skupinová se dimenzuje podle výkonu spotřebiče nebo skupiny spotřebičů. [3]

Kompenzace centrální se dimenzuje pro dekompenzování jalové energie celého uhelného lomu v závislosti na aktuálním stavu účinníku uhelného lomu. [3]

Pro volbu a provedení kompenzace jalové energie platí ČSN 33 3080 (NPD 31-7-7028). [3]

## 2.7.2 Kompenzace zemních kapacitních proudů

Z důvodu dlouhých elektrických vedení (venkovních i kabelových) v uhelných lomech, nabývají zemní kapacitní proudy nebezpečných hodnot. Mají-li tyto zemní kapacitní proudy hodnotu: [3]

- menší než 10 A – kompenzace zemních kapacitních proudů se nemusí provádět;
- od 10 A do 20 A – kompenzace zemních kapacitních proudů se doporučuje;
- větší než 20 A – kompenzace zemních kapacitních proudů se musí provádět. [3]

Kompenzace zemních kapacitních proudů musí být v uhelných lomech provedena v takových případech, kdy z důvodu dlouhých kabelových vedení, napájejících technologické celky uhelného lomu, si tyto kabely uchovávají elektrický náboj po vypnutí napájecího napětí, čímž může vzniknout kapacitní proud nebezpečné velikosti (nad 20 A). [3]

Kompenzace se doporučuje již od velikosti zemního kapacitního proudu elektrické sítě 10 A, při proudech nad 20 A je kompenzace nutná. [3]

Kompenzaci zemních kapacitních proudů je vhodné provést na stanovišti přesuvných transformoven napájejících technologické celky povrchového uhelného lomu. [3]

## 2.7.3 Kompenzace napěťové nesymetrie

U venkovních vedení umístěných na stožárech se, podle jeho rozsahu, projevuje napěťová nesymetrie. Tato nesymetrie je způsobena rozdílnou velikostí reaktance jednotlivých vodičů vedení zapříčiněnou vzájemným postavením jednotlivých vodičů a jejich postavením vůči zemi. U kabelových vedení se napěťová nesymetrie neprojevuje, protože postavení vodičů je symetrické. [3]

Napěťová nesymetrie způsobuje, že vyrovnávací proudy se uzavírají přes zem, což způsobuje poruchy ochranných hlídačů izolačního stavu. [3]

Napěťová nesymetrie se kompenzuje v napájecím bodě povrchového dolu, kompenzačním zařízením, které je schopno kompenzovat jednotlivé fáze vedení. [3]

## 2.8 Kvalita elektrické energie

Kvalita elektrické energie dnes specializace v oboru výroba, přenos a distribuce elektrické energie. Základní pohled na kvalitu elektrické energie vychází z dodržení ukazatelů kvality, jako jsou zejména:

- harmonické, meziharmonické;
- účinník  $\cos \varphi$ ;
- schopnost dodat požadované množství energie-kolísání napětí;
- poklesy a krátká přerušení napětí;
- nesymetrie napětí;
- změny kmitočtů sítě;
- dodržení míry vjemu blikání;
- stejnosměrné míry vjemu blikání.

Tyto ukazatele nejsou pochopitelně všechny a bližší kritéria jsou pak stanovena normou ČSN EN 50160. Jeden z rozhodujících bodů napájecích sítí je společný napájecí bod. Jedná se o bod, kde dochází k předávání elektrické energie od dodavatele k odběrateli tzn., kde dodavatel měří elektrickou energii a sleduje další ukazatele kvality.

Doposud nejsou sledovány všechny zmíněné zpětné vlivy na napájecí síť, nicméně tlak na zvyšování kvality elektrické energie nutí dodavatele k postupnému sledování všech zpětných vlivů. Po vstupu ČR do EU jsou tyto vlivy sledovány dodavateli elektrické energie ještě s větší důsledností a je tedy nutné, aby odběratelé dodržovali určité parametry napájecích sítí, dané evropskými normami.

### 2.8.1 Základní definice parametrů napětí

V normě EN 50160 je definováno několik parametrů napětí. Nejdůležitější jsou:

**Napájecí napětí** – efektivní hodnota napětí v dané době v předávacím místě, měřená po dobu daného intervalu.

**Jmenovité napětí v síti ( $U_n$ )** – napětí, podle kterého je síť navržena nebo označena a k němuž se vztahují některé provozní charakteristiky

**Dohodnuté napájecí napětí ( $U$ )** – je normální jmenovité napětí soustavy  $U_n$ . Je-li na základě dohody mezi dodavatelem a odběratelem přivedeno do předávacího místa napětí odlišné od jmenovitého napětí, pak toto napětí je nazýváno dohodnuté napájecí napětí  $U_c$ .

**Normální provozní podmínky** – stav splňující požadavky zatížení, spínání v soustavě a odstraňování poruch automatickými ochrannými systémy, bez výskytu mimořádných stavů způsobených vnějšími vlivy nebo závažnými událostmi.

**Změna napětí** – je nárůst nebo pokles napětí obvykle způsobený proměnlivostí celkového zatížení distribuční sítě nebo její části.

**Flikr** – vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase.

**Míra vjemu flikru** – intenzita nepříjemnosti flikru definovaná měřicí metodou UIE-IEC a vyhodnocená následujícími veličinami:

- Krátkodobá míra vjemu (P) je měřena po dobu deseti minut
- Dlouhodobá míra vjemu (P) je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot po dobu dvouhodinového intervalu

**Krátkodobý pokles napájecího napětí** – náhlý pokles napájecího napětí na hodnotu mezi 90 % a 1 % dohodnutého napětí U, po kterém následuje obnovení napětí během krátkého časového intervalu. Dohodnutá doba trvání krátkodobého poklesu napětí je mezi 10 ms a 1 min.

**Hloubka krátkodobého poklesu napětí** - je definována jako podíl mezi minimální efektivní hodnotou napětí v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím. Změny napětí, které nesnižují napájecí napětí na méně než 90% dohodnutého napětí U se nepovažují za krátkodobé poklesy napětí.

**Přerušování napájecího napětí** – je stav, při kterém je napětí v předávacím místě menší než 1% dohodnutého napětí U.

Přerušování napájecího napětí mohou být tříděna na:

- předem dohodnutá - umožňující provádění plánovaných prací na distribuční síti, při kterých jsou odběratelé elektrické energie předem informováni
- poruchová, způsobená trvalými (dlouhodobá přerušování) nebo přechodnými (krátkodobá přerušování) poruchami většinou spojenými s vnějšími vlivy, poruchami zařízení nebo rušením.

**Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu** – mají relativní dlouhou dobu trvání, obvykle několik period. Převážně mají původ ve spínacích operacích nebo poruchách, např. náhlé snížení zatížení nebo vypnutí zkratu.

**Přechodná přepětí** – jsou oscilační nebo neoscilační, silně tlumená, krátkodobá přepětí s dobou trvání několik milisekund nebo méně, způsobená bleskem nebo některými spínacími operacemi, například při vypínání induktivních proudů.

**Harmonické napětí** – sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí. Harmonická napětí lze hodnotit:

- jednotlivě jejich relativní amplitudou  $U$  vztaženou k napětí základní harmonické, kde  $h$  je řád harmonické
- souhrnně, obvykle pomocí celkového harmonického zkreslení THD

**Meziharmonické napětí** – je sinusové napětí s kmitočtem ležícím mezi harmonickými, tzn. kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu.

**Nesymetrie napětí** – je stav trojfázové sítě, při kterém efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly fázových úhlů mezi po sobě jdoucími fázemi nejsou stejné.

EN 50160 uvádí hlavní parametry napětí a rozsahy jejich přípustných odchylek ve společném napájecím bodu zákazníka ve veřejné distribuční síti nízkého (NN) a vysokého (VN) napětí, za běžných provozních podmínek. V této souvislosti NN znamená, že jmenovitá efektivní hodnota napětí mezi fázemi nepřevyšuje 1000 V, a VN znamená, že jmenovitá efektivní hodnota napětí mezi fázemi je mezi 1 kV až 35 kV.

EN 50160 uvádí pouze hlavní limity, které jsou technicky a ekonomicky přijatelné pro dodavatele pracující do veřejné distribuční sítě. Pokud jsou vyžadovány přísnější podmínky, musí být sjednána samostatná podrobná dohoda mezi dodavatelem a odběratelem.

## 2.8.2 Kolísání napětí

Pro elektromotory je nejdůležitějším faktorem kolísání točivého momentu, který je závislý na druhé mocnině hodnoty napájecího napětí. V průběhu spouštění velkých zátěží mohou nastat problémy, protože nárazový proud vyvolá v instalaci pokles napětí. V praxi pro většinu třífázových elektromotorů bývá tento pokles při spouštění běžně na 85% jmenovité hodnoty napětí pro lehký rozběh zátěží a na 70% pro těžký rozběh zátěží. [1]

Déletrvající provoz motoru, při efektivní hodnotě napětí -10 % nebo +10 %  $U_n$ , může mít negativní důsledky: v prvním případě přetížení a působení tepelné ochrany nebo provoz s nadměrným výkonem a působení ochrany v případě druhém. [1]

Dalšími závažnými problémy motorů jsou harmonická napětí a nesymetrie napájecího napětí. Napěťová nesymetrie v třífázovém systému vyvolává zpětný točivý moment, úměrný zpětné složce napětí. Každá harmonická napětí vyvolává příslušný harmonický proud a jeho vlastní moment, který může být souhlasný nebo opačný s hlavním momentem. [1]



Při zapnutí systému kráčení u ZP6800 dojde sepnutí motorů plnicích čerpadel a po časovém intervalu dojde také k sepnutí motorů hlavních čerpadel. Motory pomocných i hlavních čerpadel jsou spouštěny sepnutím stykačů přímo-nejsou zde použity žádné prostředky k omezení rozběhového proudu. Z tohoto důvodu dochází k negativnímu jevu-vzniká při tom pokles napětí v síti. K omezení tohoto negativního jevu slouží časové zpoždění při spínání jednotlivých motorů. K dalšímu omezení proudové zátěže je použito regulátoru tlaku. [1]

### 2.8.2.1 Kolísání napětí způsobené průmyslovým zařízením

Měření relativních změn kolísání napětí se provádí měřičem kolísání napětí v dohodnutém společném napájecím bodu v době s nejhorším provozem z hlediska napětí. [1]

Mezní hodnoty relativních změn napětí:

- Průmyslové zařízení u kterého nelze stanovit maximální četnost výskytu změn napětí způsobených jeho provozem, může být připojeno a uvedeno do zkušebního provozu pokud vypočtené procentní relativní změny napětí ve společném bodu nepřestoupí 0,5% jmenovitého napětí. [1]
- Průmyslové zařízení, u kterého lze stanovit četnost výskytu změn napětí způsobených jeho provozem, může být připojeno a uvedeno do zkušebního provozu pokud relativní změny napětí ve společném napájecím bodu nepřestoupí povolené hodnoty.
- Průmyslové zařízení může být trvale provozováno pokud naměřené hodnoty relativních změn napětí, způsobené jeho provozem, nepřestoupí povolené hodnoty. [1]

### 2.8.2.2 Výpočet relativních změn napětí

Procentní relativní změna napětí ve společném napájecím bodu se určí ze vztahu[1]

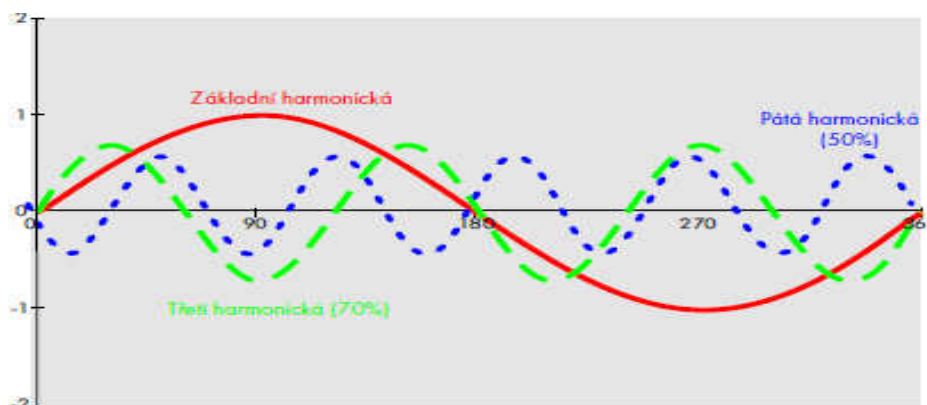
$$\frac{\delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{100}{U_N} \cdot \sqrt{3} \cdot (\delta I_p \cdot R_s + \delta I_Q \cdot X_s) \quad (2.9)$$

V případě, že není možné určit složky impedance elektrizační soustavy, počítáme relativní změnu napětí ze vztahu[1]

$$\frac{\delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{110 \cdot \Delta I_Q}{I_{k0}''} \quad (2.10)$$

### 2.8.3 Harmonické a meziharmonické

Harmonické frekvence jsou celé násobky základní harmonické napájecího napětí, tzn. při základní harmonické 50Hz je třetí harmonická 150Hz a pátá harmonická je 250Hz. [7]



Obr 2.1 Průběh základní harmonické, třetí harmonické (70%) a páté harmonické (50%)

Ve skutečnosti je většina deformovaných průběhů proudu mnohem složitější, než je v tomto případě a obsahuje mnohem více harmonických se složitějším fázovým posuvem. [7]

Časový průběh, který není pouze sinusový, což znamená, že běžné měřicí zařízení, jako je např. multimetr, měřící efektivní hodnoty, nebude měřit správně. Každé zařízení, které využívá průchod proudu nulou jako referenční, tedy nebude fungovat správně. Skutečnost, že takovýto průběh obsahuje i jiné harmonické, než pouze základní, musí být vždy brána v úvahu. [7]

#### 2.8.3.1 Harmonické vyšších řádů v průmyslových sítích

Platí zde norma SNEN61000-2-4. [1]

Průmyslové zařízení může být trvale provozováno, pokud hodnoty harmonických napětí budou nižší, než mezní hodnoty uvedené v tab. 2.2 a hodnoty zkreslení budou nižší než mezní hodnoty uvedené v tab. 2.3[1]

#### 2.8.3.2 Výpočet harmonických vyšších řádů napětí u průmyslových zařízení

Vyšší harmonická  $U_n$  ve voltech se určí ze vztahu[1]

$$U_n = \sqrt{U_{ns}^2 + U_{nz}^2} \quad (2.11)$$

Kde:

$U_{ns}$  je vyšší harmonická napětí elektrizační soustavy před připojením průmyslového zařízení

$U_{nz}$  je vyšší harmonická napětí způsobené připojováním průmyslových zařízení určíme ze vztahu

$$U_{nz} = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot Z_n \quad (2.12)$$

$I_n$  je vyšší harmonická proudy způsobeného průmyslovým zařízením

$Z_n$  je impedance elektrizační soustavy. [1]

Řád vyšší harmonické n	Mezní proud v ampérech		
	A	B	C
<b>liché</b>			
<b>3</b>	0,80	2,30	3,40
<b>5</b>	0,60	1,10	1,70
<b>7</b>	0,45	0,80	1,20
<b>9</b>	0,30	0,40	0,60
<b>11</b>	0,17	0,30	0,50
<b>13</b>	0,12	0,20	0,30
$15 \leq n \leq 39$	$0,10 \times \frac{15}{n}$	$0,15 \times \frac{15}{n}$	$0,15 \times \frac{15}{n}$
<b>sudé</b>			
<b>2</b>	0,30	1,10	1,60
<b>4</b>	0,20	0,40	0,60
<b>6</b>	0,15	0,30	0,45
$8 \leq n \leq 40$	$0,12 \times \frac{8}{n}$	$0,25 \times \frac{8}{n}$	$0,25 \times \frac{8}{n}$

Tab. 2.2 Mezní hodnoty harmonických napětí[1]

### 2.8.3.3 Výpočet činitele zkreslení napětí kz, způsobeného připojováním průmyslovým zařízením

$$k_2 = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{nz}^2}}{U_N} \cdot 100 (\%) \quad (2.13)$$

Při výpočtu nebereme v úvahu vyšší harmonické napětí menší než 0,2%  $U_N$ . [1]

PZ – připojované průmyslové zařízení

$I_{nz}$  – proud  $n$ -té harmonické skupiny průmyslového zařízení

$Z_{nC}$  – komplexní impedance paralelního filtru, kompenzační kondenzátor a ostatní spotřebiče pro  $n$ -tou harmonickou

$Z_{nL}$  – komplexní impedance přívodního vedení k odběrnému místu včetně případného sériového filtru a napájecího transformátoru pro  $n$ -tou harmonickou

$I_n$  – proud  $n$ -té harmonické

$I_{nC}$  – proud  $n$ -té harmonické paralelního filtru, kompenzačního kondenzátoru a ostatních spotřebičů

$Z_n$  – impedance elektrizační soustavy při kmitočtu  $n$ -té harmonické

Řád vyšší harmonické n	Mezní poměrná hodnota napětí vyšší harmonické vztažená k napětí základní harmonické v %		
	nn	vn	vvv
<b>liché</b>			
3	4,00	3,00	2,00
5	4,00	3,00	2,00
7	4,00	3,00	2,00
9	0,95	0,95	0,95
11	3,00	2,50	1,50
13	2,50	2,00	1,00
15	0,50	0,50	0,50
17	1,00	0,80	0,50
19	1,00	0,80	0,50
21	0,30	0,30	0,30
23	1,00	0,80	0,50
25	0,90	0,80	0,50
<b>27 ≤ n ≤ 39</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>
<b>sudé</b>			
2	1,50	1,00	0,50
4	1,00	0,70	0,30
6	0,70	0,50	0,20
8	0,50	0,30	0,20
<b>10 ≤ n ≤ 40</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>

Tab. 2.3 Mezní hodnoty zkreslení napětí[1]

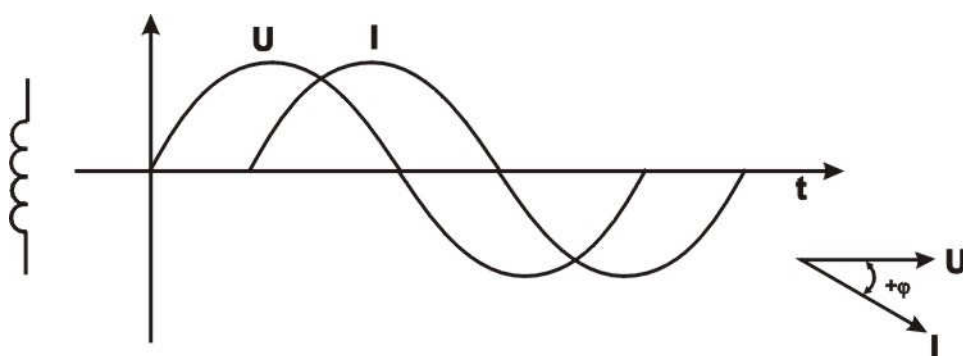
## 2.8.4 Účinník $\cos \varphi$

Účinník je funkce  $\cos \varphi$ , kde  $\varphi$  je úhel mezi fázorem proudu a napětí. Účinník z hlediska výkonů je definován:

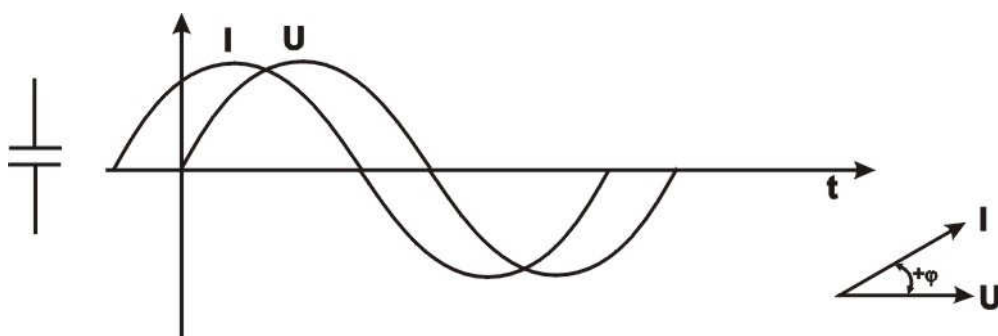
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.14)$$

Protože se většinou měří činná a jalová energie (výkon), definuje se hodnota  $\tan \varphi$ :

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (2.15)$$



obr. 2.2 Posuv napětí a proudu induktivních spotřebičů



Obr. 2.3 Posuv napětí a proudu kapacitních spotřebičů

Uvedená definice účinníku platí pouze na předpokladu sinusového průběhu proudu a napětí, není-li tato podmínka splněna, je definování složitější.

Většina spotřebičů v elektrických sítích (transformátory, indukční motory) má induktivní charakter, pro vytvoření magnetického pole je kromě činné složky nutná i jalová složka proudu.

Na činných ztrátách v přívodním vedení se podílí i jalová složka proudu. Cílem kompenzace účinníku je minimalizovat jalovou složku proudu a tím snížit hodnotu ztrát. Proto je nutno tyto spotřebiče kompenzovat, dodat jim kapacitní jalový výkon. Tím, že se tento výkon dodá přímo u spotřebiče (např. připojením kondenzátoru paralelně ke spotřebiči), se zvýší průchodnost vedení a sníží se činné ztráty.

## **2.9 Distribuce elektrické energie v Severočeských Dolech, a.s. na těžební lokalitě DNT**

V důlní společnosti SD a.s. pracuje celá řada těžebních velkostrojů. Tyto velkostroje jsou napájeny ze střídavé sítě o napětí 3 x 6 kV IT, nebo 3 x 35 kV IT a to podle potřebného příkonu příslušného velkostroje.

### **2.9.1 Napájecí body povrchového dolu**

V místě kde je povrchový důl napojen na veřejnou distribuční síť je nazývána napájecím bodem. Toto napojení se provádí na napěťové hladině 3 x 110 kV TT. Pro zvýšení spolehlivosti napájení povrchového dolu je většinou těchto napájecích bodů i více.

V napájecím bodě se obvykle provádí transformace napětí z napěťové hladiny 3 x 110 kV na napětí 3 x 35 kV IT, kompenzace účinníku, filtrace harmonických, atd. V těchto napájecích bodech se také provádí měření spotřeby povrchového dolu. Toto měření provádí distributor elektrické energie.

### **2.9.2 Páteřní napájecí soustava**

Pro zvýšení spolehlivosti dodávky elektrické energie k jednotlivým zařízením povrchového dolu jsou napájecí body (hlavní transformovny) a hlavní rozvodné stanice vzájemně propojeny venkovními vedeními do kruhu. Toto páteřní vedení je obvykle vedeno mimo těžební prostory povrchového lomu.

### **2.9.3 Distribuce napětí do prostoru povrchového dolu**

Distribuce napětí 35 kV je zajištěna z rozvoden Tušimice, Málkov a Březno. Z těchto rozvoden je toto napětí dále vedeno pomocí venkovního vedení na ocelových příhradových stožárech na distribuční trafostanice, umístěné v těžebním prostoru. Tato trafostanice je přesuvná a je sloučena s podružnou spínací stanicí. Pro tento celek se používá název „Transformátorová stanice napětí“ (TSN). Venkovní vedení je zakončeno v přesuvné rozvodně, vybavené přívodním vypínačem 35kV a transformátorem vlastní spotřeby o výkonu 100kVA. Z přívodního vypínače je prostřednictvím přípojnic vyvedeno napětí na distribuční transformátor s výkonem 6,3 MVA případně 10 MVA. Výstup transformátoru je zaveden do přesuvné spínací stanice na přívodní vypínač. Tato spínací stanice dále obsahuje čtyři pole s vypínači 6kV a také jedno pole měření. Na výstup transformátoru je také připojena kompenzační baterie transformátoru.



*Obr. 2.4 Přesuvná distribuční transformátorová stanice TSN 66*

## **2.9.4 Distribuce k jednotlivým zařízením povrchového dolu**

Z distribučních trafostanic je napětí dále rozvedeno výhradně pomocí kabelových vedení. V povrchových uhelných dolech se k distribuci používají především napěťové hladiny 6 kV a 35 kV a to podle dodávaného příkonu napájeného zařízení.

K rozvodům elektrické energie se používají kabely o průřezech :

- kabely 6kV pro napájení zakladačů, rypadel malých výkonů a technologických zařízení pasové dopravy o průřezu  $95 \text{ mm}^2$  nebo  $120 \text{ mm}^2$  .
- kabely 35kV pro napájení nejvýkonnějších rypadel o průřezu  $50 \text{ mm}^2$  nebo  $70 \text{ mm}^2$

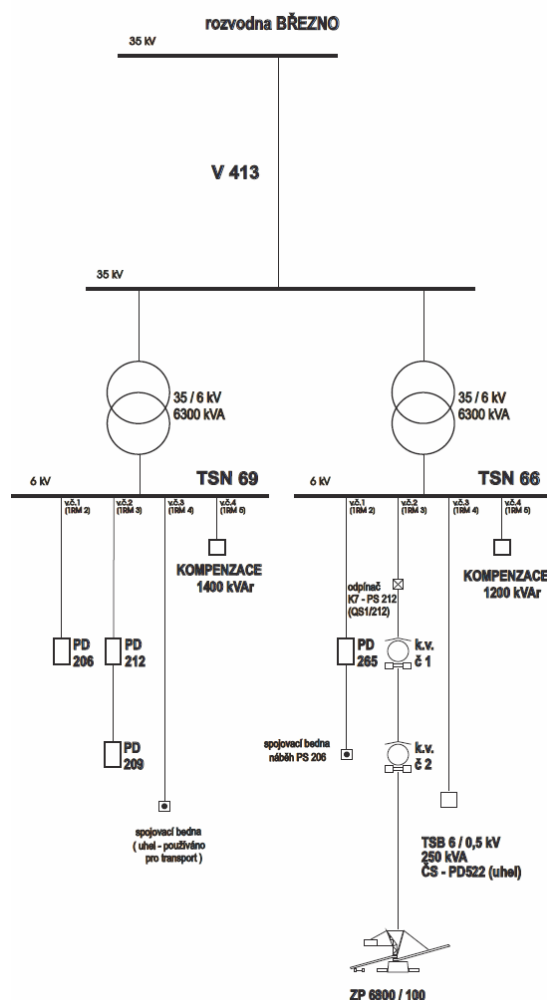
Kabely o napětí 35kV jsou zpravidla vedeny k velkostrojům volným uložením na zemi, ochrana proti poškození těchto kabelů se zajišťuje výstražnými tabulkami. Kabel je následně připojen do kabelového kiosku vybaveného odpínačem. Zde je pak připojen přes kabelový vůz, případně několik kabelových vozů, příslušný velkostroj.

Kabely o napětí 6kV jsou z rozveden vedeny po středních dílech pasových dopravníků přes poháněcí stanice. Zde jsou zapojeny do spojovacích beden. Do spojovacích beden umístěných na náběhu poháněcí stanice je pak připojen velkostroj přes kabelový vůz.

## 2.9.5 Napájení porovnávaných zakladačů

Napájení porovnávaných zakladačů je řešeno shodně kabelovým vedením z přesuvných distribučních transformátorových stanic 35/6 kV, s výkonem distribučního transformátoru o výkonu 6,3 MVA. Z těchto rozveden jsou kromě zakladačů napájeny rovněž poháněcí stanice pasových dopravníků. Délka jednotlivých pasových dopravníků ve většině případů přesahuje 1000 m. Instalovaný výkon poháněcí stanice pasového dopravníku DPD výkonové řady TC2 se pohybuje cca od 1400 do 2500 kVA, a to podle počtu instalovaných pohonů.

## 2.9.6 Napájení ZP 6800.1/100



Obr. 2.5 Schéma připojení zakladače ZP 6800.1 na distribuční transformovnu



Zakladač ZP6800.1 je napájen z distribuční spínací stanice označené jako TSN 66. Kromě ZP 6800.1 jsou na TSN 66 připojeny další poháněcí stanice pasového dopravníku. Výsypka na které se pohybuje zakladač ZP6800.1 má délku cca 4 km. Délka napájecí trasy se pohybuje od 2400 m do cca 5500 m. K napájení je použito kabelu 6 CHCU 3x95+3x16mm<sup>2</sup>, částečně uloženého na střední části pasových dopravníků a částečně namotaného na kabelových vozech. Kabelový vůz je připojen do spojovací bedny umístěné pod spojovacím mostem zakladače.

Napájecí kabel je dále veden na přívodní vypínač velkstroje. Před přívodním vypínačem je provedena odbočka na transformátor vlastní spotřeby (osvětlení, vytápění, ovládací obvody). Za hlavním vypínačem se nachází napájení technologie zakladače (pohony dopravní linky, pohyby stroje, atd.).

**Parametry:** Celkový instalovaný výkon – 2750 kW

Celkový maximální výkon – 1850 kW

Celkový průměrný výkon – 1400 kW

Při uvažovaném  $\cos \varphi = 0,95$  a účinnosti = 0,9 je: max. příkon = 2150 kVA[6]

**Napájecí síť – použité napět'ové soustavy:** [6]

- Přívod **3PE 6000 V, AC, 50 Hz / IT** - izolovaná

- Motorová síť **3PE 500V AC, 50 Hz / IT** - izolovaná

Napět'ová soustava 500V je napájena z transformátoru 1000kVA, 6/0,525kV

- Světelná síť **3PEN 400 AC, 50 Hz / TN-C-S**

- Ovládání **1PEN 230 AC, 50 Hz / TN-S**

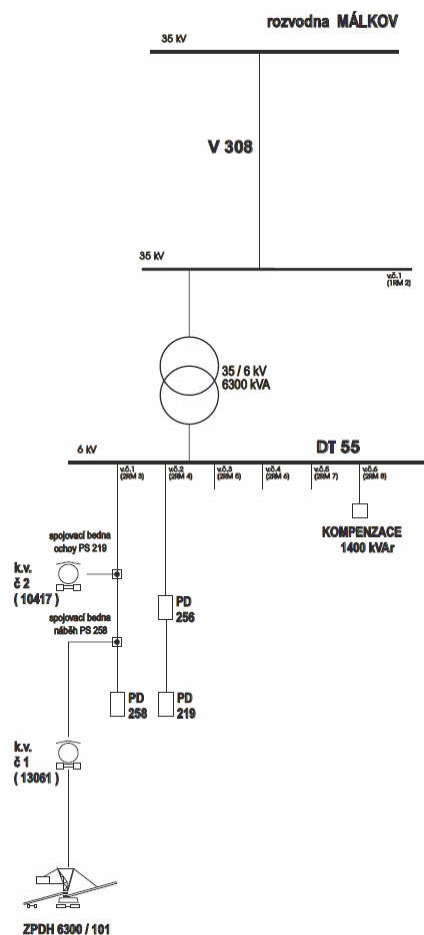
Napět'ová soustava 400/230V je napájena z transformátoru 160kVA, 6/0,4/0,231kV

Na napět'ové hladině 6 kV jsou napájeny pohony výložníkového pasu – 2 x 500 kW a spojovacího pasu – 2 x 250 kW. Motory pohonů dopravní linky jsou kompenzovány individuálně a to výkonem 2 x 200 kVAr motory výložníkového pasu a 2 x 100 kVAr motory spojovacího pasu.

Na napět'ové hladině 500 V jsou napájeny obvody technologie, jako např. pohyby stroje pomocné pohony dopravní linky, atd.

Na napět'ové hladině 400/231 V jsou napájeny obvody vlastní spotřeby jako je osvětlení, vytápění, jeřábek, atd..

## 2.9.7 Napájení ZPDH 6300



Obr. 2.6 Schéma připojení zakladače ZPDH 6300 na distribuční transformovnu

Zakladač ZPDH 6300 je napájen z distribuční spínací stanice označené jako DT 55. Kromě ZPDH 6300 jsou na DT 55 připojeny ještě další tři poháněcí stanice pasových dopravníků.

Výsypka na které se pohybuje zakladač ZPDH 6300 má délku cca 1 km. Délka napájecí trasy se pohybuje od 4500 m do cca 5500 m. K napájení je použito kabelu 6 CHCU 3x95+3x16mm<sup>2</sup>, částečně uloženého na střední části pasových dopravníků a částečně namotaného na kabelových vozech. Na kabelovém voze je kabel ukončen ve spojovací bedně do které je připojen kabelový buben zakladače. Napájecí kabel je dále veden na přívodní vypínač velkstroje. Za hlavním vypínačem se nachází napájení technologie zakladače (pohony dopravní linky, pohyby stroje, atd.). Tento zakladač nemá samostatný transformátor vlastní spotřeby (osvětlení, vytápění, ovládací obvody).

**Parametry:** Celkový instalovaný výkon – 2215 kW  
Celkový maximální výkon – 2400 kW  
Celkový průměrný výkon – 1470 kW[5]

**Napájecí síť – použité napěťové soustavy: [5]**

V silnoproudých rozvodech zakladače jsou použity tyto napěťové soustavy:

- Přívod **3PE 6000 V, AC, 50 Hz / IT**
- Napájení S vozu **3PE 500V AC, 50 Hz / IT**

Napěťová soustava 500V je napájena z transformátoru 250 kVA, 0,4/0,525kV

- Motorová síť **3PEN 400 AC, 50 Hz / TN-C**
- Světelná síť **3PEN 400 AC, 50 Hz / TN-C-S**
- Ovládání **1NPE 230 AC, 50 Hz / TN-S**

Napěťová soustava 400/230V je napájena z transformátoru 2500 kVA, 6/0,4/0,231kV

Napájení celé technologie se nachází na napěťové hladině 400/231 V s výjimkou napájení S vozu, který se nachází na napěťové hladině 500 V.

### 3 Porovnání a popis kráčivého a housenicového podvozku

#### 3.1 Zakladač ZP 6800.1 - kráčivý podvozek

Zakladač ZP 6800.1 je stroj o hmotnosti 1790 t. Pohyb takového stroje v terénu za jakéhokoli počasí není snadný. Proto je pohyb zajišťován tzv. kráčivým podvozkem. Kráčivý podvozek umožňuje pohyb hlavní části stroje v jakémkoli směru a to v každém okamžiku (za předpokladu, že není omezen koncovými vypínači spojovacího mostu).

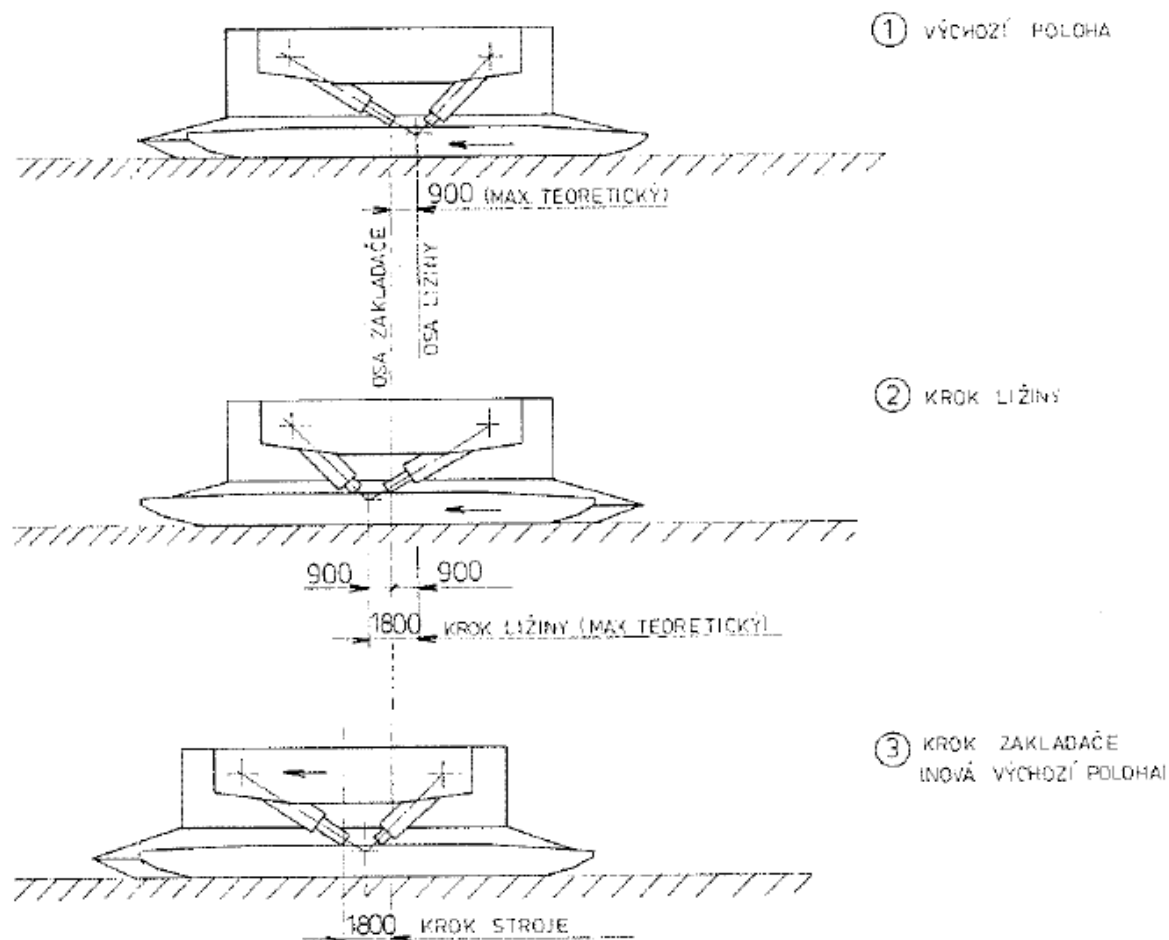


Obr. 3.1 Zakladač ZP6800.1

Kráčivý podvozek ZP 6800.1 se sestává z pevné a pohyblivé části. Spodní stavba zakladače, na které zakladač stojí, má tvar disku o průměru 18,725 m, s činnou plochou 194,2 m<sup>2</sup> a tvoří tzv. pevnou část kráčení. Na této části spočívá největší část stroje. Disk vyvíjí na pláň měrný tlak o 0,065 MPa.

Pohyblivou část kráčení tvoří dvě ližiny, o rozměrech 17,2 m x 5,6 m a s činnou plochou 2 x 87,6 m<sup>2</sup>, umístěné na bocích disku. Při kráčení vyvíjí ližiny na podložku měrný tlak ve výši 0,07 –

0,085 MPa. Při transportu je povolený maximální náklon 1 : 20. Ližiny jsou ve střední části uchyceny na dvojici vzájemně zpřažených pístů, které zajišťují pohyb ližin.



Obr. 3.2 Schéma funkce kráčivého podvozku zakladače ZP6800.1 [6]

Řízením množství oleje na malé a velké ploše každého z pístů se docílí pohybu těchto ližin podél disku v požadované výšce a tím se zajišťuje pohyb stroje. Stroj se vzepře na ližinách, tím odlehčí disk a řízením tlaku pod jednotlivými písty se posune tento disk (stroj) v požadovaném směru. Po dokončení pohybu „sunutí stroje“ se stroj spustí na pláň a po dosednutí disku se zvednou ližiny nad terén a předsunou se před disk o další krok. Následně se stroj na ližinách opět vzepře a celý proces se opakuje. Tím je vyvolán pohyb hlavní části stroje požadovaným směrem. Pokud chceme změnit směr pohybu hlavní stavby stroje, zvednou se ližiny nad terén a pomocí otoče se natočí ližiny do požadovaného směru.

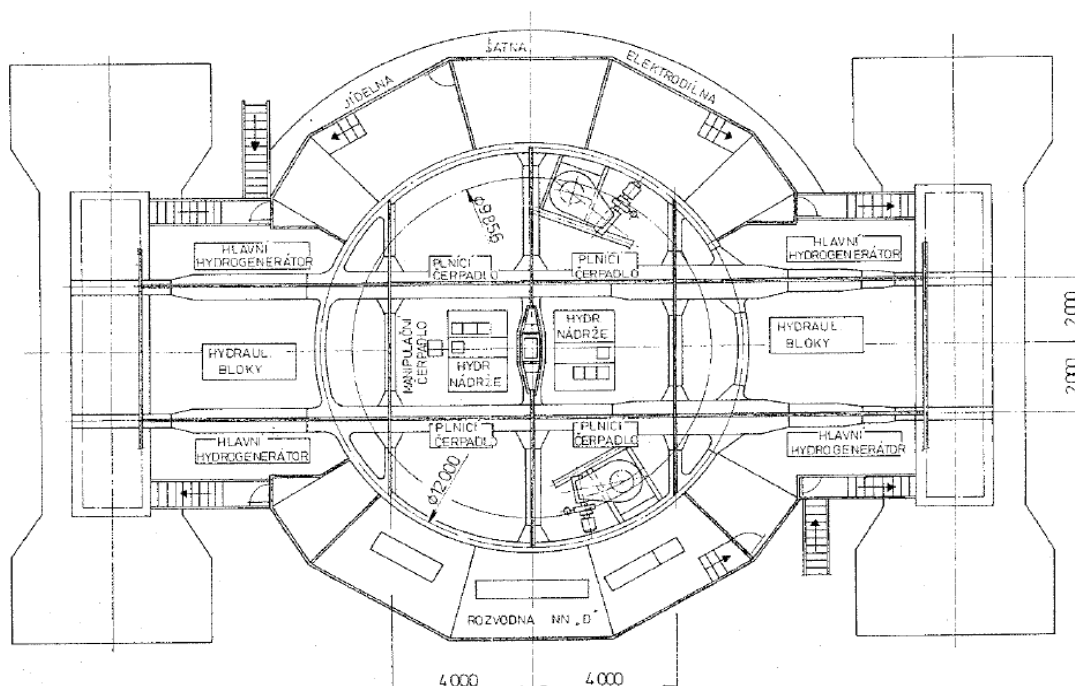
Rychlost kráčení se pohybuje, v závislosti na kvalitě terénu, v rozsahu 60 – 70 m.hod<sup>-1</sup>. Délka jednoho kroku, v závislosti na kvalitě terénu, je cca 1,2 m.



Obr. 3.3 Ližina kráčivého podvozku zakladače ZP6800.1

### 3.1.1 Hydraulický systém kráčení

Pohyb pístů ve válcích zajišťuje potřebný tlak oleje v hydraulickém systému, přivedený na příslušná místa, proto je stroj vybaven dvěma nádržemi na hydraulický olej o celkovém obsahu  $10 \text{ m}^3$  oleje.



Obr. 3.4 Schéma rozložení kráčivého podvozku zakladače ZP6800.1 [6]



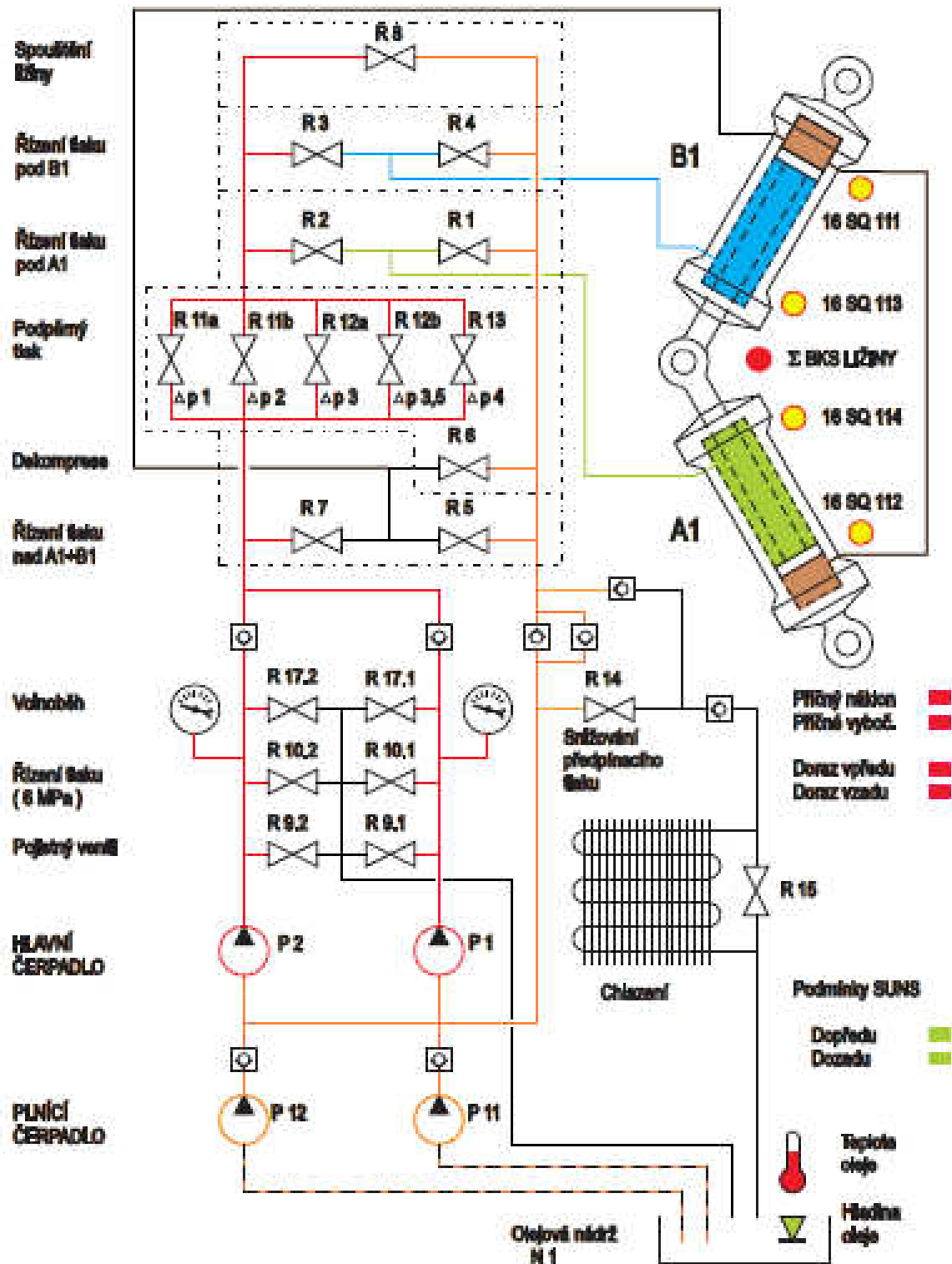
Dostatečné množství oleje pro hydraulický systém dodávají čtyři hlavní pístová čerpadla (včetně čtyř čerpadel pomocných) o tlaku 16 MPa. Pomocná čerpadla zajišťují potřebný minimální tlak oleje na vstupech hlavních čerpadel. Hlavní čerpadla jsou poháněna asynchronními elektromotory v zapojení nakrátko o výkonu 4 x 100 kW a pomocná čerpadla jsou poháněna elektromotory v zapojení nakrátko o výkonu 4 x 22 kW.

Hydraulické nádrže, čerpadla společně s pojistnými ventily tvoří tzv. zdrojovou část hydraulického systému. Ventily, řízení podpěrného tlaku, rozvody a písty jsou součástí výkonné části hydraulického systému.



*Obr. 3.5 Řídící ventily kráčivého podvozku zakladače ZP6800.1*

Systém použitý na zakladači ZP 6800.1 je ovládán logickými ventily (stav 0 – 1) bez PID regulátorů. Navíc olej vytlačovaný ze systému se vrací na vstup čerpadel bez toho, aby se vracel do nádrže (uzavřený systém).



Obr. 3.6 Schéma zapojení jedné ližiny hydrauliky kráčení zakladače ZP6800.1



Při přehřátí oleje je možné zapojit do okruhu chladicí větev a olej ochlazovat vzduchem v chladičích.

Nastavení cest směřování oleje je řízeno pomocí lineárních snímačů polohy, umístěných na pístech. Dle navoleného povelu je kráčení řízeno automatem řízení (ZAT Příbram), prostřednictvím relátky spínaných logických ventilů.



*Obr. 3.7 Pole řízení hydrauliky kráčení zakladače ZP6800.1*

### 3.2. Zakladač ZPDH 6300 - housenicový podvozek

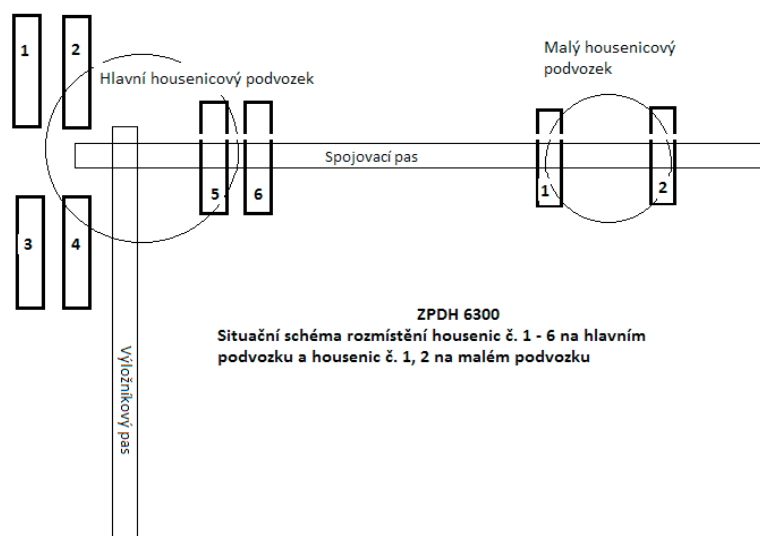


Obr. 3.8 Zakladač ZPDH 6300

Na rozdíl od zakladače ZP 6800 tento modernější zakladač o hmotnosti 1429 t, využívá k přemísťování housenicový podvozek. Výhodou tohoto systému oproti hydraulickému je možnost při pojíždění stroje nastavit prakticky libovolnou polohu výložníkového pasu a možnost rychlejšího pojezdu při přesunech velkstroje. Další výhodou je rovněž podstatně nižší složitost tohoto systému, kde hydraulika je použita pouze pro zatačení hlavních (velkých) housenicových podvozků.

#### 3.1.2 Hlavní housenicový podvozek

Skládá se ze tří párů podvozků umístěných do vrcholů rovnostranného trojúhelníka.



Obr. 3.9 Rozmístění housenicových podvozků na ZPDH 6300

Hlavní podvozek ZPDH 6300 využívá k pohonu podvozků šesti asynchronních motorů 55kW/400V s nuceným chlazením. Každý motor je napájen z frekvenčního měniče, což umožňuje lepší ovladatelnost pohybu velkstroje a především není tolik namáhána elektrická soustava. Zatáčení hlavního podvozku obstarává hydraulický agregát, který jedním pístem natáčí dvojice podvozků 1,2 a 3,4. Agregát pohání asynchronní motor 37kW/400V.



Obr. 3. 10. Hlavní housenicový podvozek



Obr. 3. 11. Pohon hlavního podvozku



Obr. 3. 12 FM hl. podvozku

Hlavní podvozek	
počet housenic	3 x 2
počet hnacích housenic	6
délka housenice	9 m
šířka housenice	3,1 m
poloměr zatáčení podvozku	min. 60 m
rychlost pojezdu	2,5 až 10 m/min
střední měrný tlak na pláš ( provoz )	0,080 MPa
střední měrný tlak na pláš ( transport )	0,078 MPa

Tab. 3. 1. Technické parametry hlavního podvozku ZPDH 6300 [5]



Malý podvozek je složen ze dvou housenic, které pohání dva asynchronní motory 75 kW/400V. Motory jsou napájené ze dvou frekvenčních měničů stejného typu, jako na hlavním podvozku. K zatáčení lze použít možnosti protisměrného chodu pohonu podvozků.



Obr 3.13 Malý housenicový podvozek



Obr. 3.14. Pohon podvozku

Podvozek pod spojovacím mostem	
počet housenic	2
počet hnacích housenic	2
délka housenice	8,5 m
šířka housenice	2,4 m
poloměr zatáčení podvozku	Možnost otáčení protichodem na místě
rychlost pojezdu	2,5 – 10 m/min
střední měrný tlak na pláš ( provoz )	0,075 Mpa
střední měrný tlak na pláš ( transport )	0,072 Mpa

Tab. 3. 2. Technické parametry malého podvozku ZPDH 6300 [5]

Celý proces pohybu housenicových podvozků, včetně zatáčení, je ovládán a monitorován centrálním automatem (PLC systém) umístěným v kabině řidiče velkstroje ZPDH 6300.

## 4 Vliv jednotlivých druhů podvozků z pohledu na napájecí síť

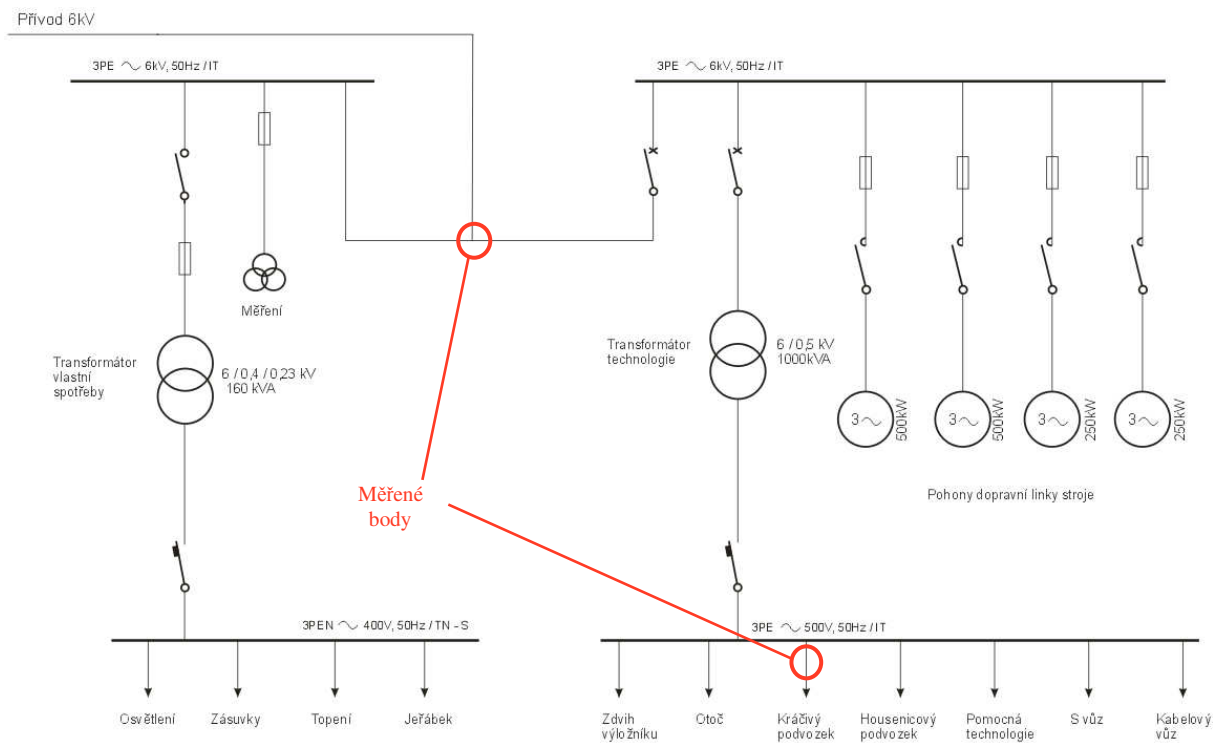
### 4.1 Měření na ZP 6800 a ZPDH 6300

Na základě požadavků SD a.s. bylo v dubnu 2012 provedeno měření napájecích sítí zakladače ZP 6800 a ZPDH 6300 v lokalitě Doly Nástup Tušimice. Cílem měření bylo zjistit elektrické parametry v napájecích sítích 6 kV, 500 V a 400 V na uvedených zařízeních při použití kráčeních případně pojezdu zakladače za chodu dopravní linky.

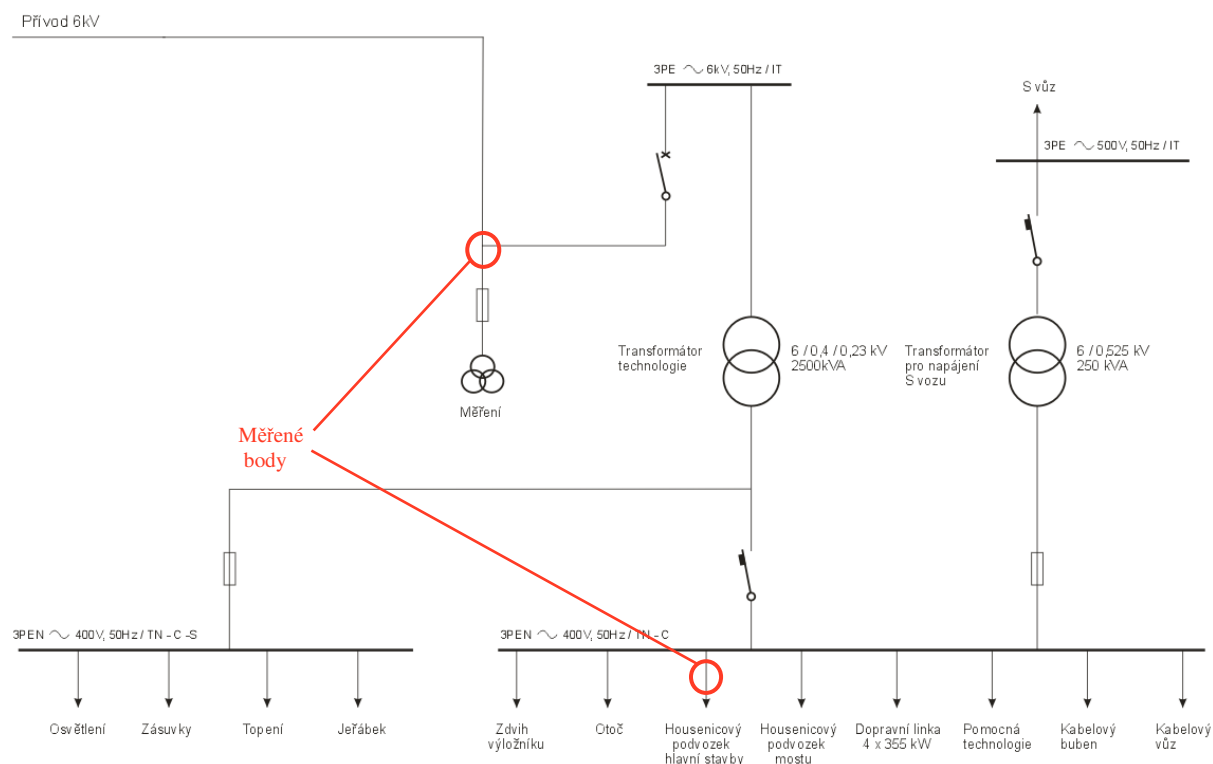
#### 4.1.1 Popis a způsob měření

Měření bylo uskutečněno v napájecí síti 3 x 6000 V na hlavním přívodu (u obou zakladačů), v napájecí síti 3 x 500 V na přívodu pro napájení pohonů kráčeních (u ZP 6800) a v napájecí síti 3 x 400 V na přívodu pro napájení pojezdů kráčeních (u ZP 6300).

Při zapojení analyzátoru byly respektovány fáze napětí L1, L2, L3 a k nim příslušné proudy a směry jejich toků.



Obr. 4.1. Měřené body v napájecí síti ZP 6800



Obr. 4.2. Měřené body v napájecí síti ZP 6300

#### Podmínky měření na ZP 6800

Měření bylo provedeno za chodu dopravní linky zakladače pod materiálem a současně bylo nasimulováno kráčení a to provedením tří kroků v obou směrech. Kráčení bylo prováděno na rovině

#### Podmínky měření na ZP 6300

Měření bylo provedeno za chodu dopravní linky zakladače pod materiálem a současně bylo nasimulován provozní režim pojezd velkstroje a to v obou směrech. Pojezd byl prováděn na rovině.

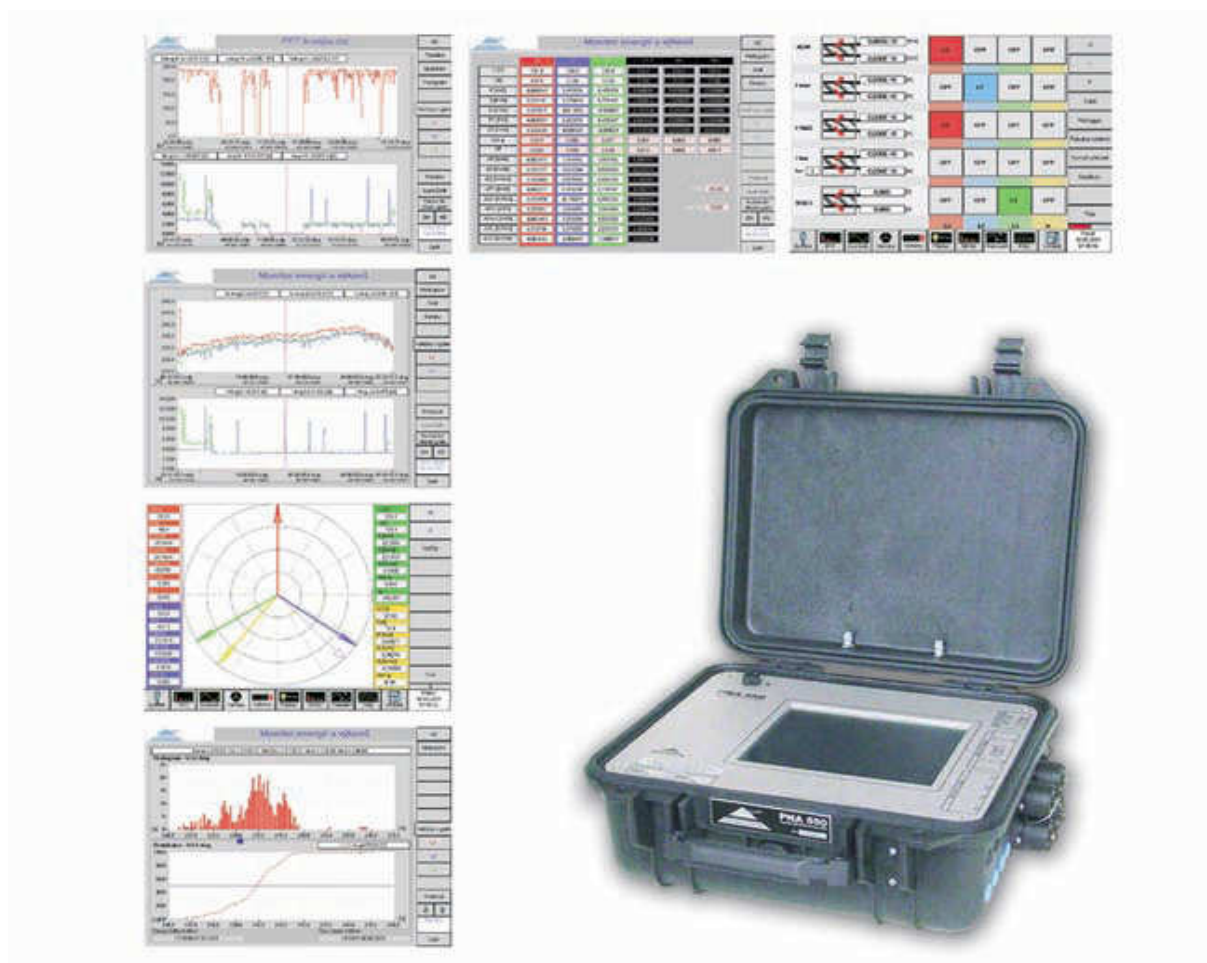
### 4.1.2 Základní technické údaje a rozsah měření

K měření efektivních hodnot napětí a proudů byla použita měřicí aparatura skládající se z analyzátoru PNA 550 a jeho příslušenství. Jako příslušenství byly použity proudové měniče MN71 s rozsahem do 5A a proudové měniče Ampflex s rozsahem do 150 A a 1000A.

### ***Základní popis přístroje PNA 550***

Analyzátor slouží k analýze charakteristik odběru elektrické energie, jako jsou:

- Monitorování výkonů a energií – záznam a statistické vyhodnocování všech dostupných elektrických veličin: celkové výkony a výkony základní harmonické, rozdělení na dodávku a odběr a na kapacitní a induktivní energii, rozlišení celkového účinníku PF a účinníku základní harmonické  $\cos \varphi$ . Náznorným pomocníkem je vestavěný osciloskop a vektorskop.
- Harmonická analýza – FFT analýza do 50. harmonické pro čtyři napětí a čtyři proudy, včetně celkového harmonického zkreslení  $THD_u$  a  $THD_i$ .
- Zápis rychlých dějů se vzorkovací frekvencí až 25,6 kHz pro vyhodnocování přechodných dějů.
- Monitorování a analýza kvality napětí v souladu s normou ČSN EN 50160. Umožňuje statistické vyhodnocení naměřených hodnot napětí z hlediska normy ČSN EN 50160.
- Měřič blikání – flickermeter. Vyhodnocuje jak krátkodobý  $P_{st}$ , tak i dlouhodobý vjem blikání  $P_{lt}$ .



*Obr. 4.3. Analyzátor sítě PNA 550*

### ***Měřené parametry***

V soustavě 6 kV (oba zakladače), 500 V (ZP6800) a 400V (ZPDH 6300) byla provedena měření těchto elektrických veličin...

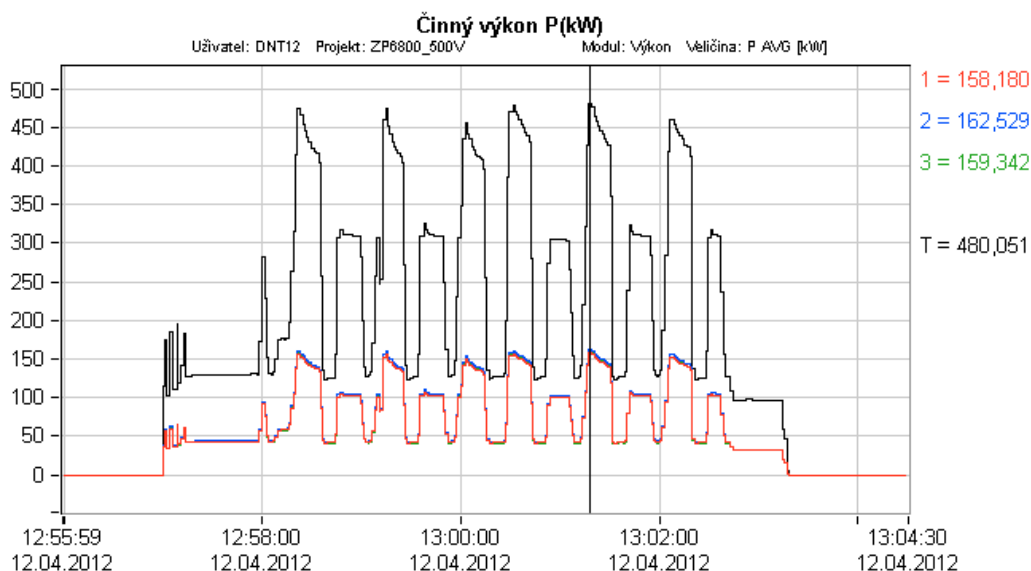
- efektivní hodnoty napětí a proudu
- činný výkon a účinník  $\cos \varphi$
- okamžité hodnoty  $u(t)$  a  $i(t)$
- spektrum harmonických U (%)
- spektrum harmonických I (%)
- harmonické zkreslení THD U a I

## **4.2 Naměřené hodnoty**

### **4.2.1 Odebíraný výkon**

Z grafu naměřeného odběru na vývodu pro kráčení ZP 6800 je patrné, že odběr výkonu je ve všech fázích symetrický a celkový odebíraný výkon během kráčení se pohybuje v rozsahu 150 až 480 kW.

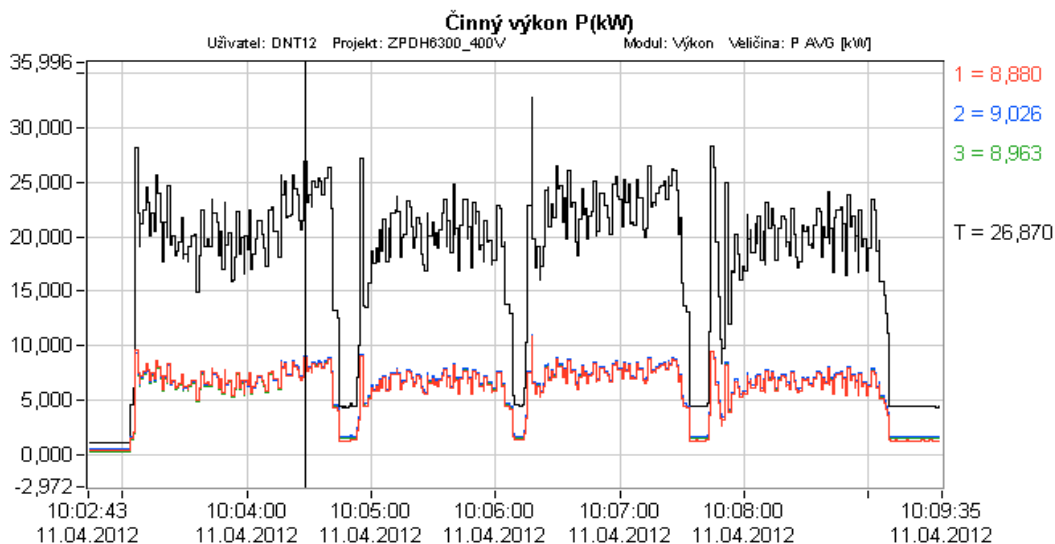
Na grafu je zřetelně vidět rozdíl v odebíraném výkonu při sunutí stroje a sunutí ližin.



**Obr. 4.4. Odebíraný činný výkon v soustavě 3 x 500V při kráčení ZP6800**



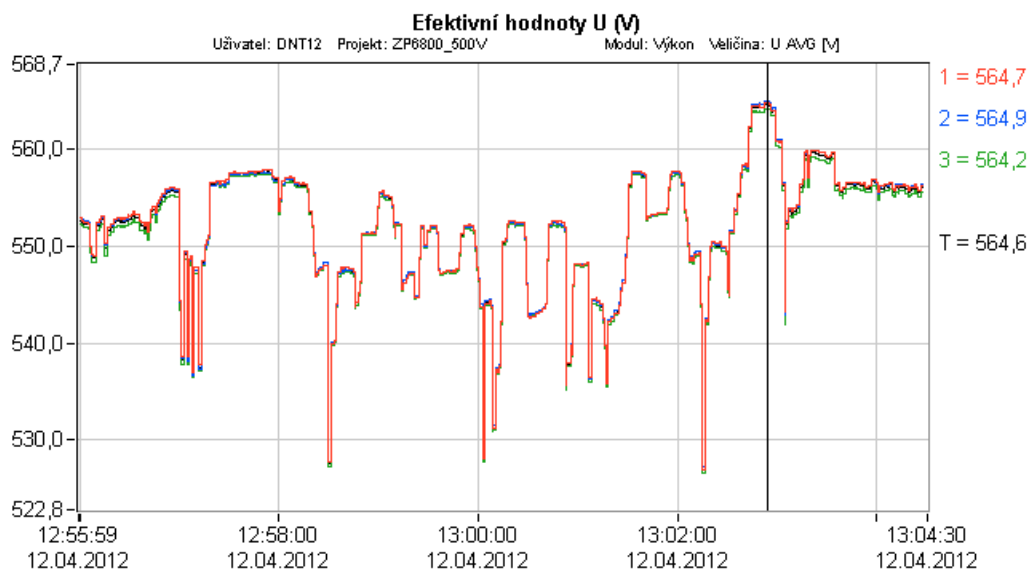
Z grafu naměřeného odběru na vývodu pro pojezd ZP 6300 je patrné, že odběr výkonu je ve všech fázích symetrický a celkový odebíraný výkon během jízdy se pohybuje v rozsahu 15 až 30 kW.



Obr. 4.5. Odebíraný činný výkon v soustavě 3 x 400V při jízdě ZP6300

## 4.2.2 Úbytek napětí

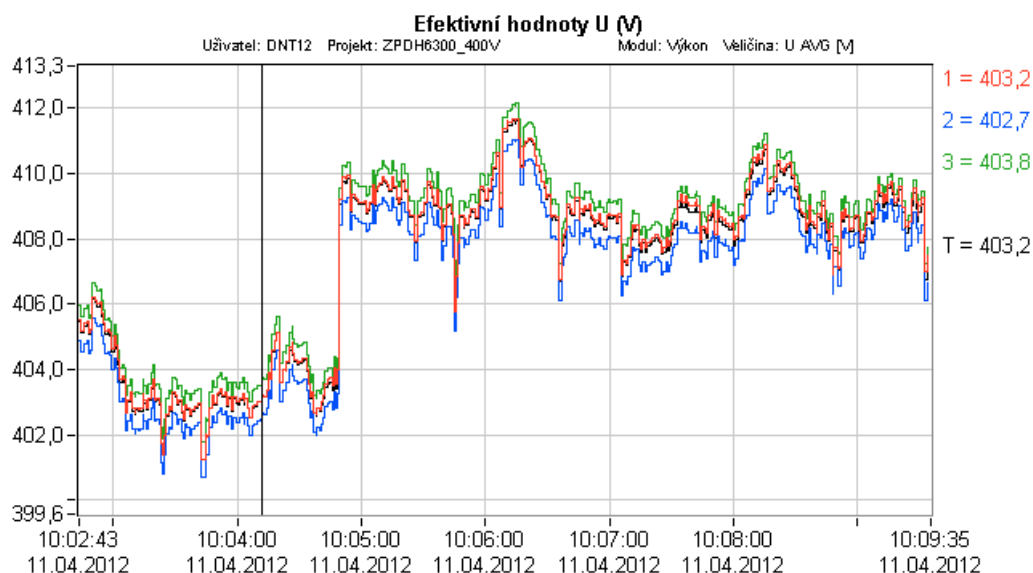
Z měření je patrné, že kolísání napětí, v obou napájecích sítích ZP 6800, při běžném provozu pohonu kráčení vyhovuje ve všech provozních režimech podmínce  $\pm 10\%$  normy ČSN EN 50 160.



Obr. 4.6. Závislost napětí v soustavě 3 x 500V na kráčení ZP6800

Efektivní hodnoty sdruženého napětí v soustavě 3 x 500 V dosahují za provozu kráčení 525 až 558 V. Při vypnutém pohonu kráčení dosahuje napětí v soustavě 3 x 500 V hodnoty 564,6 V.

Efektivní hodnoty sdruženého napětí v soustavě 3 x 6000 V dosahují za provozu kráčení 5950 až 6280 V.



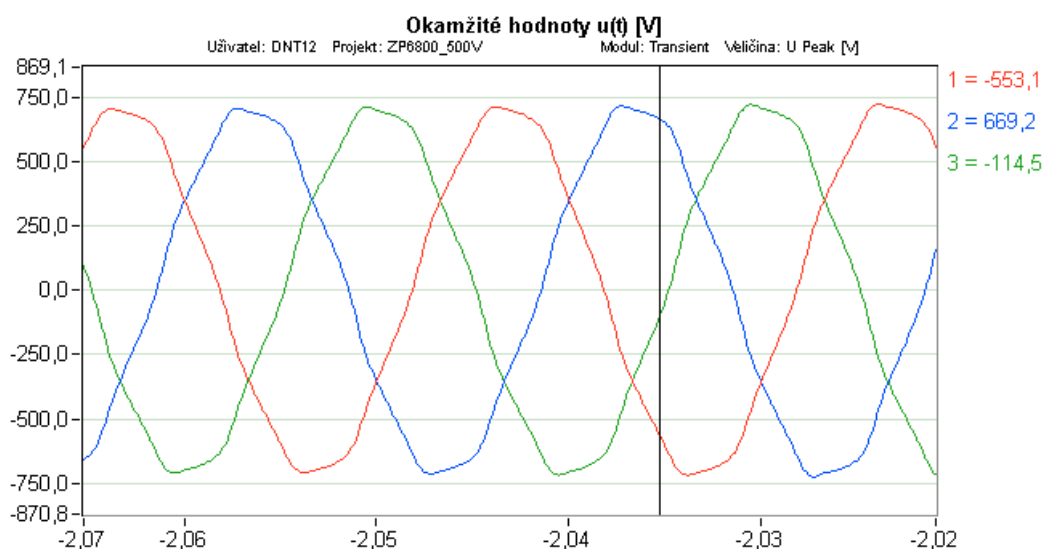
Obr. 4.7. Závislost napětí v soustavě 3 x 400V na kráčení ZP6300

### 4.2.3 Harmonické vyšších řádů

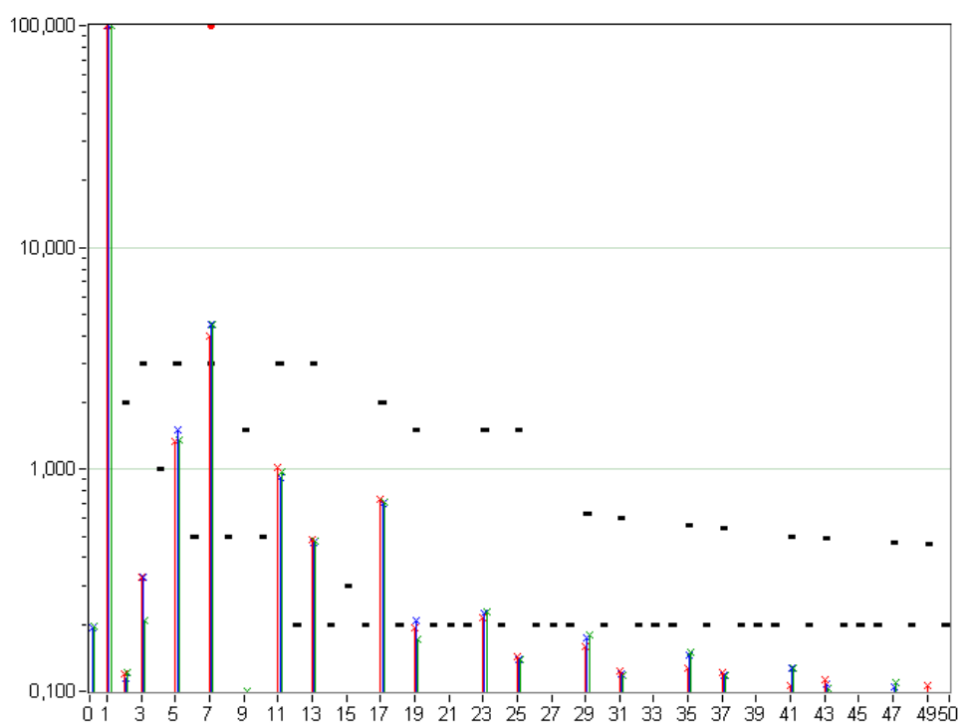
Z průběhu naměřených okamžitých hodnot napětí a proudu napájecích soustav byla vypočítána harmonická analýza (FFT) a celkové harmonické zkreslení napětí a proudu.

#### 4.2.3.1 Měření na ZP6800

Z měření je patrné, že z hlediska vyšších harmonických napětí, v obou napájecích sítích ZP 6800, při běžném provozu pohonu kráčení vyhovuje ve všech provozních režimech normě ČSN EN 61000-2-4.

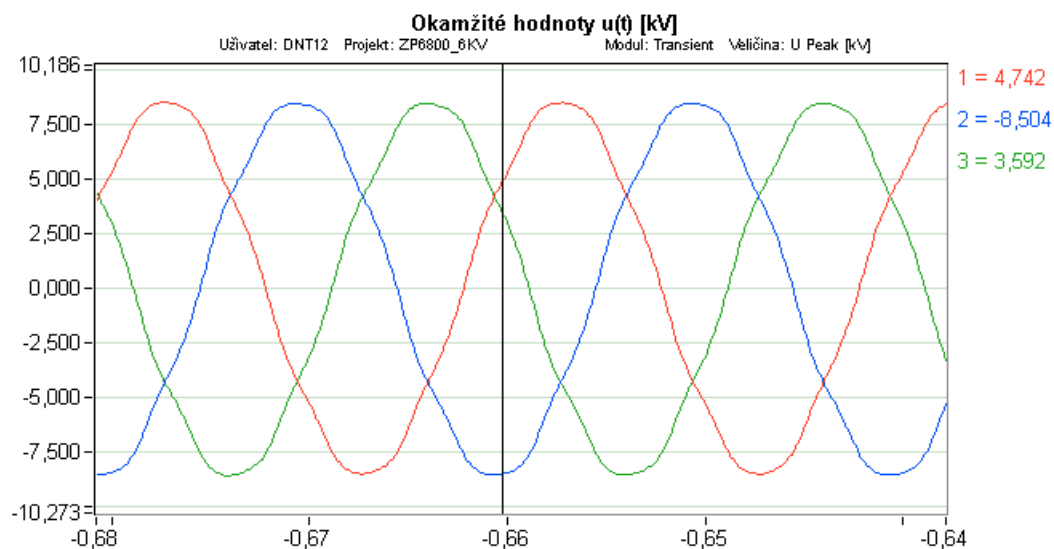


Obr. 4.8. Okamžité hodnoty  $u(t)$  v soustavě 3 x 500V při kráčení ZP6800

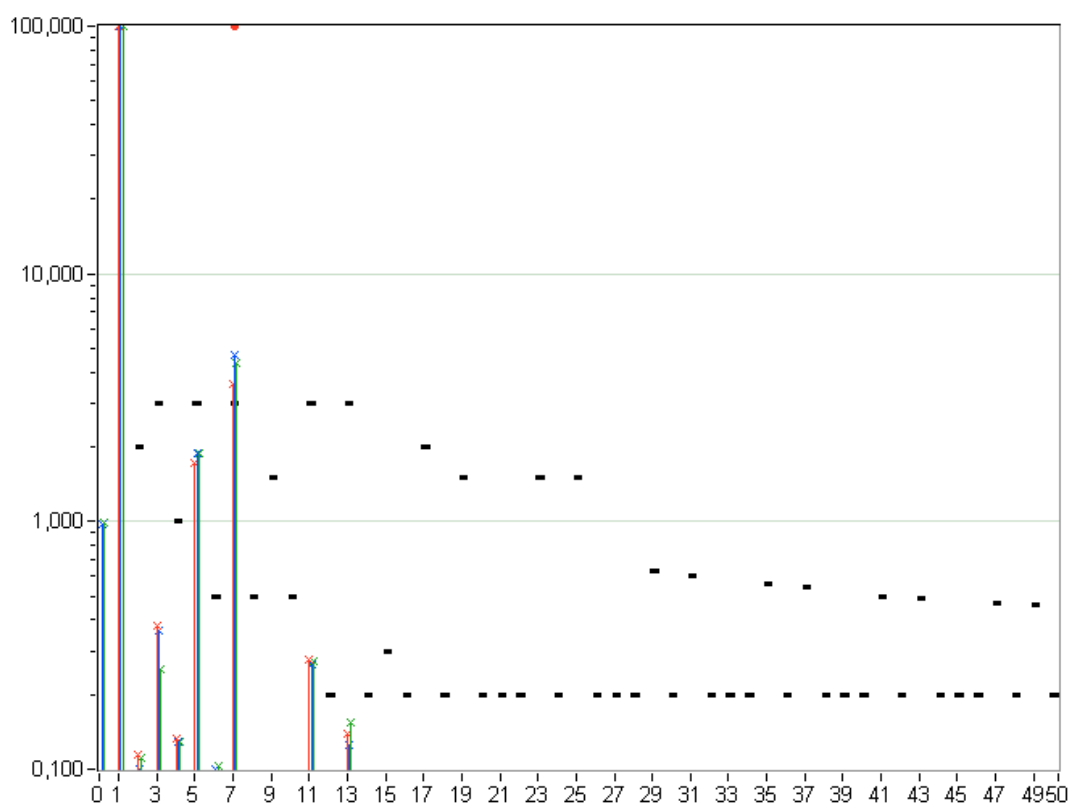


Obr. 4.9. Spektrum harmonických napětí v soustavě 3 x 500V při kráčení ZP6800

Z obrázků 4.8 a 4.9 je vidět že kráčení nám napájecí soustavu 3 x 500 V zatěžuje u napětí harmonickými vyššího řádu od 2 harmonické až po 49 harmonickou, z nichž nejvýznamnější jsou 7. harmonická, které přesahují 4,9 % z velikosti první harmonické. Norma připouští 5 %. Ostatní harmonické nepřesahují 1 % z velikosti první harmonické.



Obr. 4.10. Okamžité hodnoty  $u(t)$  v soustavě **3 x 6000V** při kráčení **ZP6800**

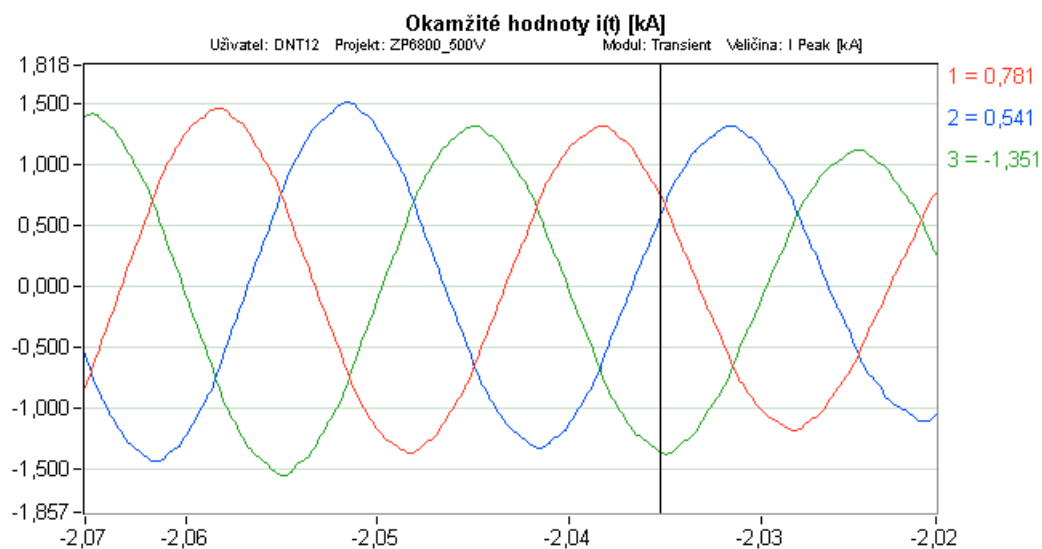


Obr. 4.11. Spektrum harmonických napětí v soustavě **3 x 6000V** při kráčení **ZP6800**

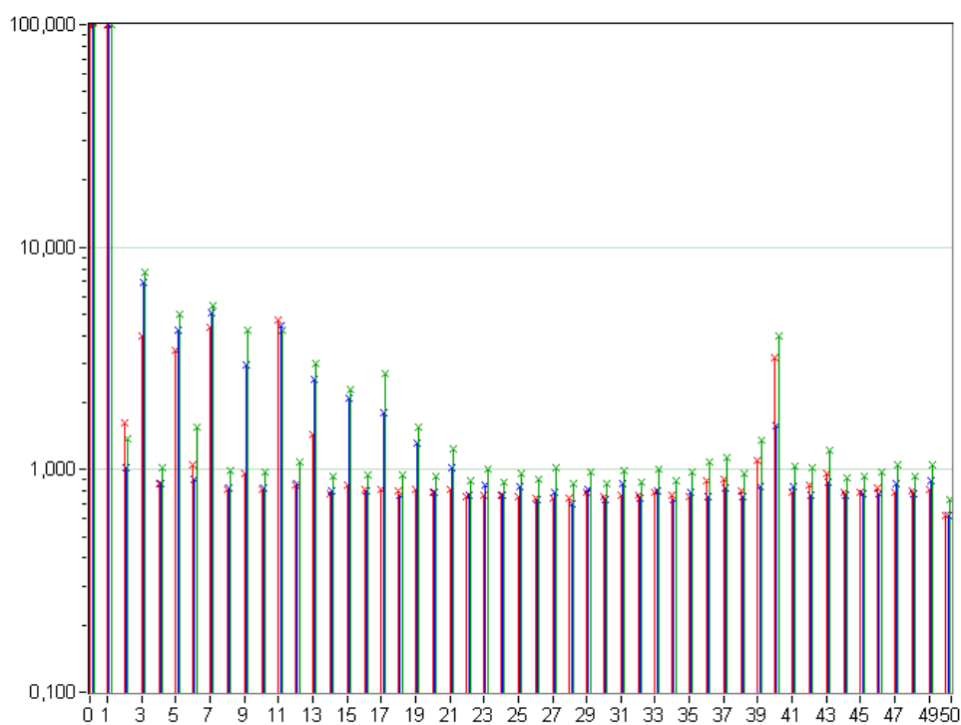
Z obrázků 4.10 a 4.11 je vidět že v napájecí soustavu 3 x 6000 V že harmonické vyššího řádu snížili znatelně svou hodnotu, z nichž nejvýznamnější zůstává 7. harmonická s hodnotou 5 %.

Snížení hodnot vyšších harmonických je mimo jiné zapříčiněno řízenou kompenzací umístěnou na napájecí sběrnici 3 x 500 V.

Celkové zkreslení **napětí**  $THD_U$  dosahuje v napěťové soustavě 3 x 500V hodnoty 5,3 % a v napěťové soustavě 3 x 6000V se pohybuje v rozsahu 2 až 5,2 %.

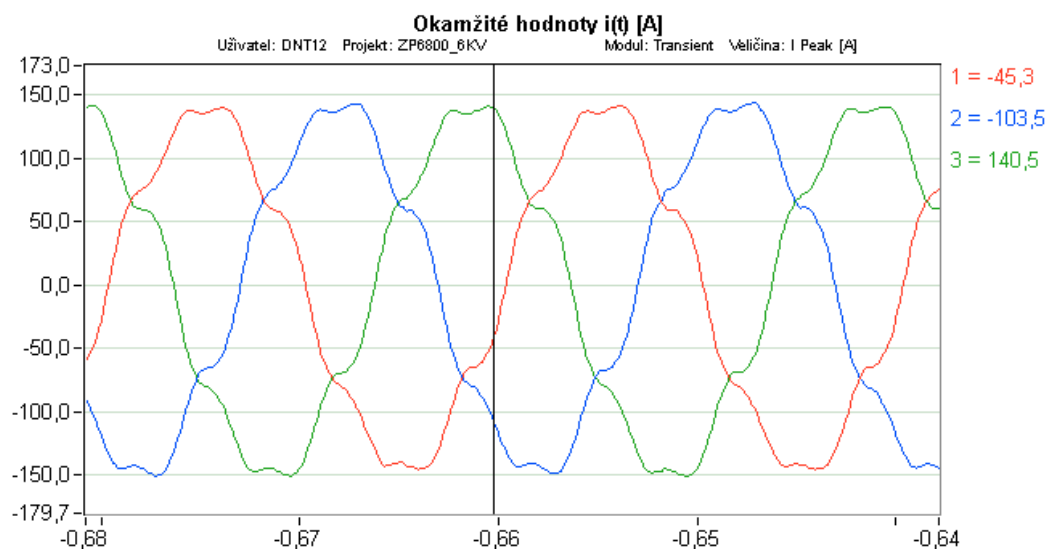


Obr. 4.12. Okamžité hodnoty  $i(t)$  v soustavě 3 x 500V při kráčení ZP6800

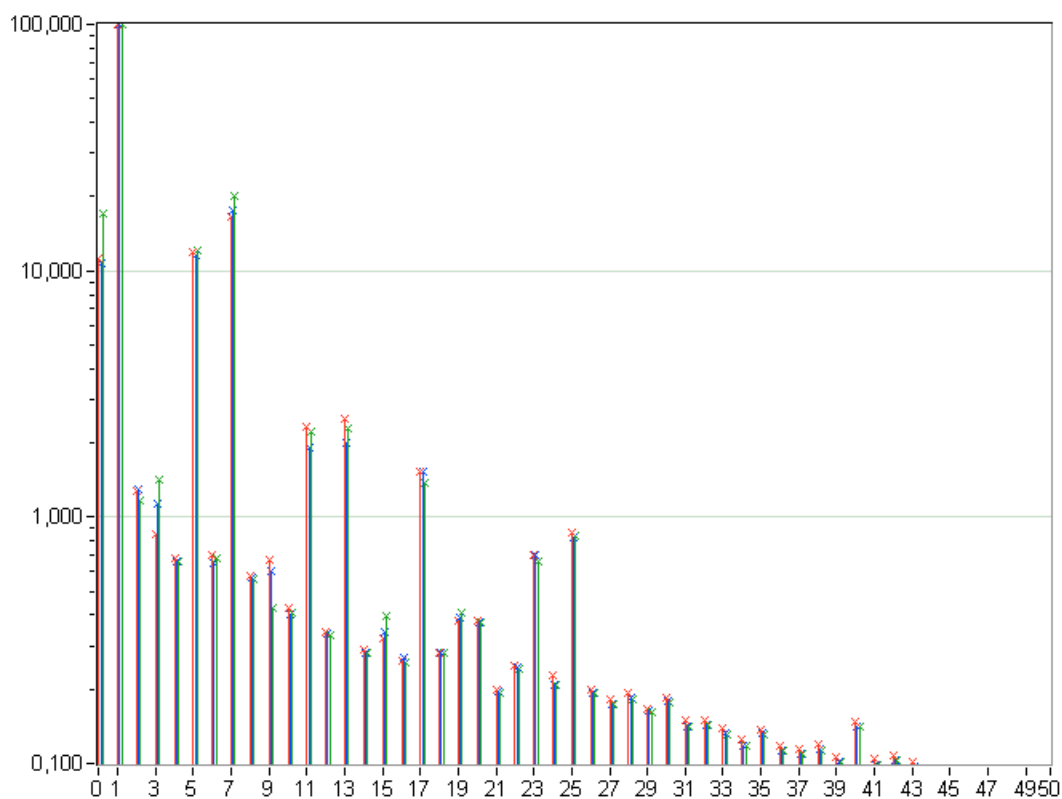


Obr. 4.13. Spektrum harmonických proudů v soustavě 3 x 500V při kráčení ZP6800

Z obrázků 4.12 a 4.13 je vidět že kráčení nám napájecí soustavu 3 x 500 V zatěžuje u proudu harmonickými vyššího řádu od 2 harmonické až po 50 harmonickou, z nichž nejvýznamnější jsou 3. harmonická, která dosahuje 7,2 % z velikosti první harmonické.



Obr. 4.14. Okamžité hodnoty  $i(t)$  v soustavě 3 x 6000V při kráčení ZP6800



Obr. 4.15. Spektrum harmonických proudů v soustavě 3 x 6000V při kráčení ZP6800

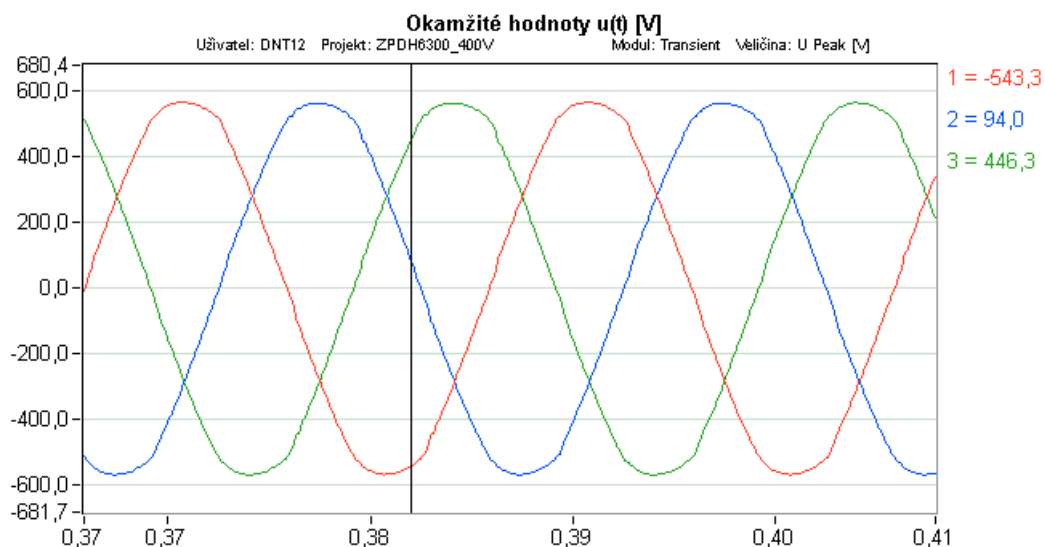
Z obrázků 4.14 a 4.15 je vidět že v napájecí soustavu 3 x 6000 V že harmonické vyššího řádu snížili znatelně svou hodnotu, výjimkou je nárůst u 5 a 7 harmonické s hodnotou 5 %.

Snížení hodnot vyšších harmonických je mimo jiné zapříčiněno řízenou kompenzací umístěnou na napájecí sběrnici 3 x 500 V.

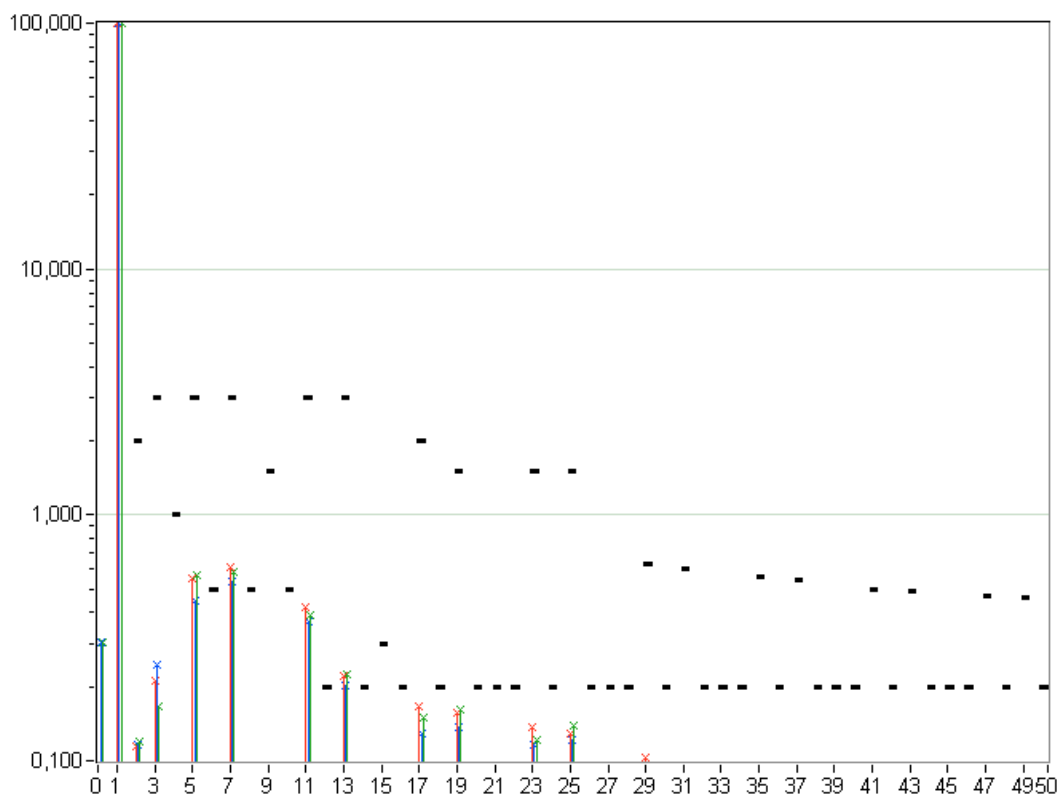
Celkové zkreslení proudu  $THD_I$  v napěťové soustavě 3 x 500V se pohybuje v rozsahu 3 až 13 % a v napěťové soustavě 3 x 6000V dosahuje hodnoty až 25 %. Hodnota 5 a 7 harmonické se již významně podílí na deformaci proudové křivky.

#### 4.2.3.2 Měření na ZP6300

Z měření je patrné, že z hlediska vyšších harmonických napětí, v obou napájecích sítích ZP 6300, při běžném provozu pohonu kráčení vyhovuje ve všech provozních režimech normě ČSN EN 61000-2-4.

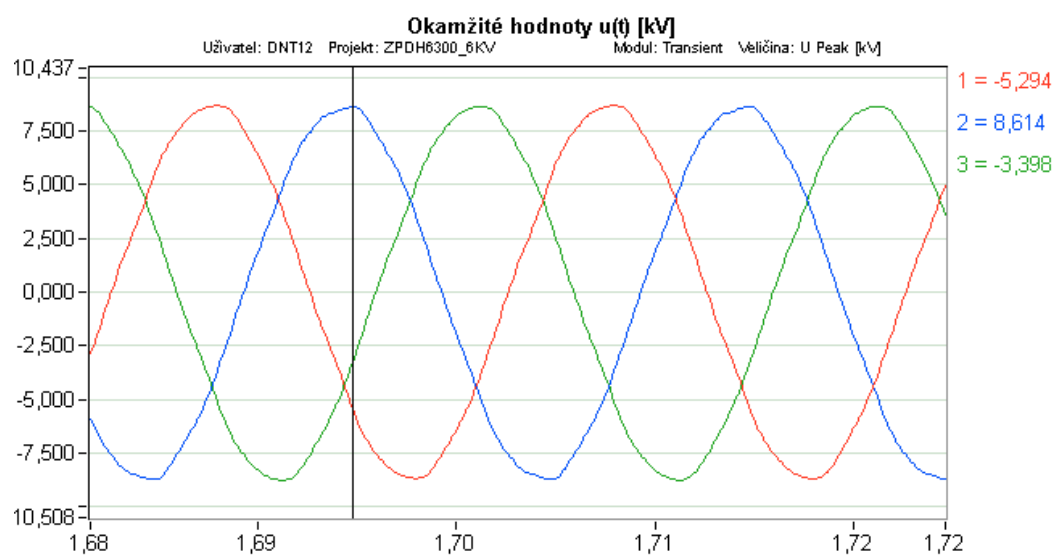


Obr. 4.16. Okamžité hodnoty  $u(t)$  v soustavě 3 x 400V při jízdě ZP6300



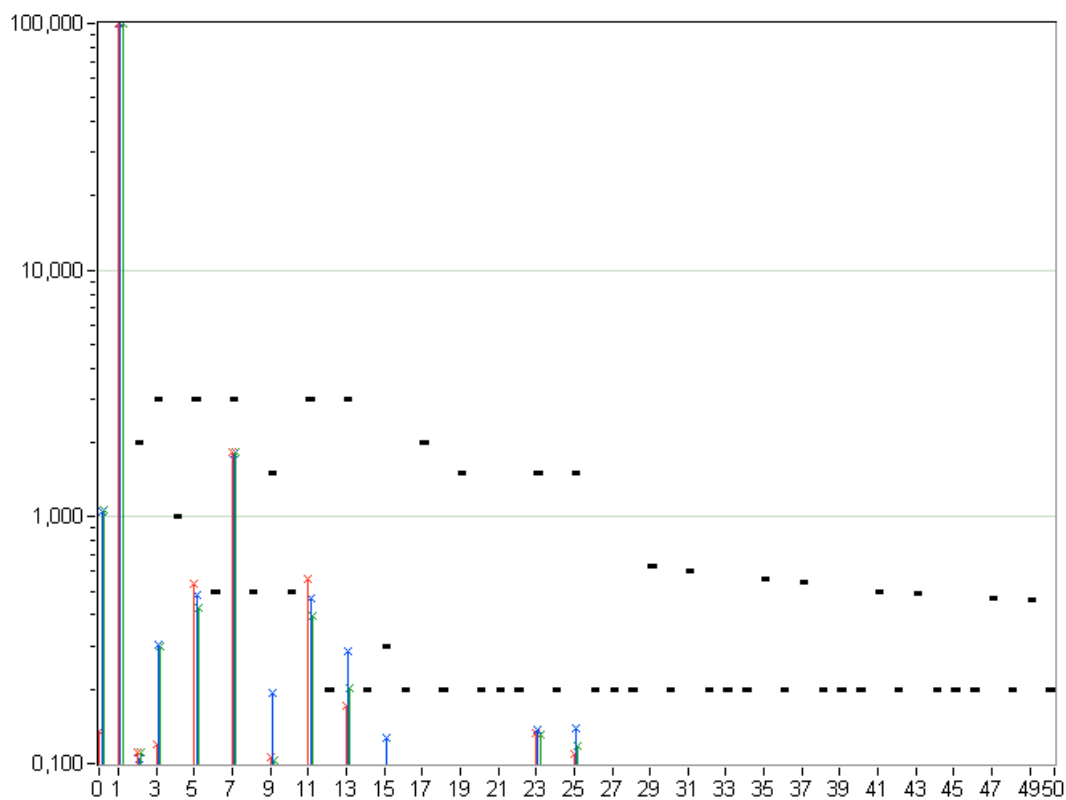
Obr. 4.17. Spektrum harmonických napětí v soustavě 3 x 400V při jízdě ZP6300

Z obrázků 4.16 a 4.17 je vidět že při jízdě nám napájecí soustavu 3 x 400 V zatěžuje u napětí harmonickými vyššího řádu od 2 harmonické až po 25 harmonickou, z nichž žádná nepřesahuje 1 % z velikosti první harmonické. To je vidět i na křivce průběhu napětí kde deformace harmonického průběhu je minimální.



Obr. 4.18. Okamžité hodnoty  $u(t)$  v soustavě 3 x 6000V při jízdě ZP6300

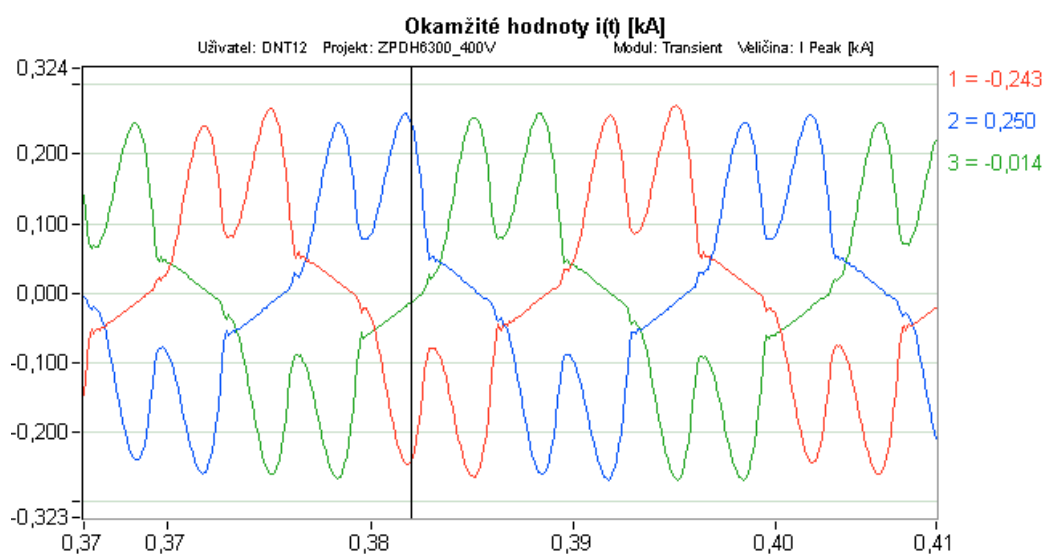




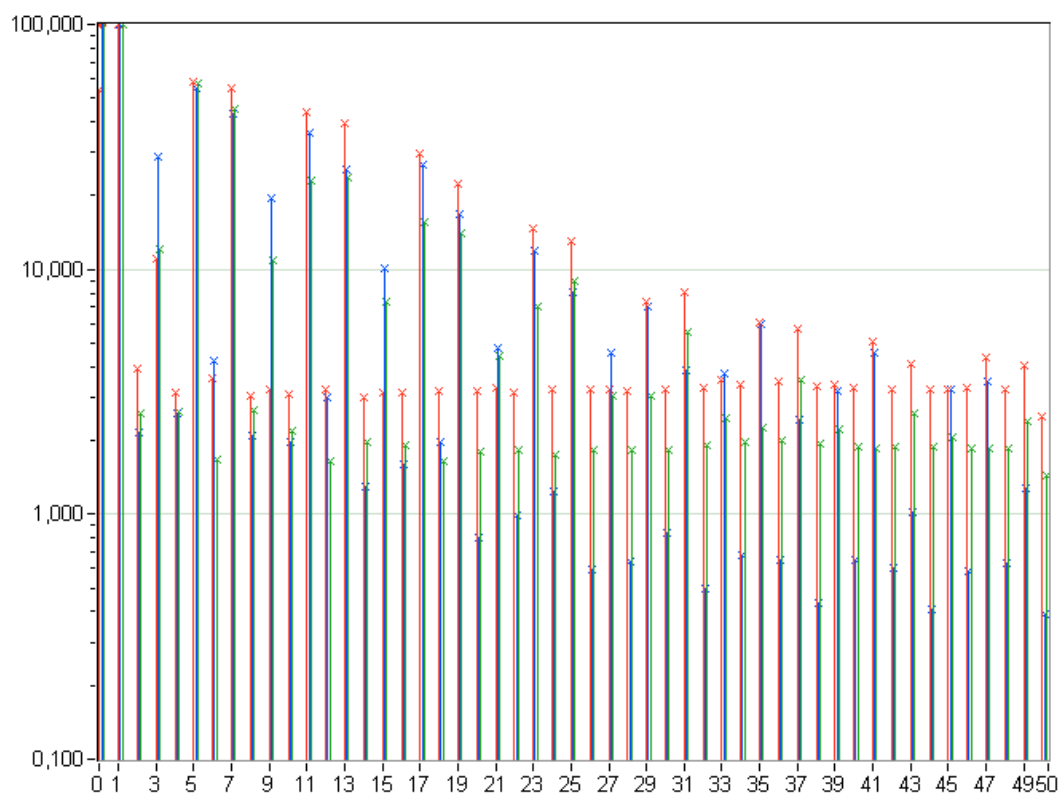
Obr. 4.19. Spektrum harmonických napětí v soustavě **3 x 6000V** při jízdě **ZP6300**

Z obrázků 4.18 a 4.19 je vidět že v napájecí soustavu 3 x 6000 V že především 7. harmonická navýšila svou hodnotou na 1,1 %.

Celkové zkreslení napětí THDU dosahuje v napěťové soustavě 3 x 400V hodnoty 1,2 % a v napěťové soustavě 3 x 6000V se pohybuje v rozsahu 1,2 až 2,1 %.



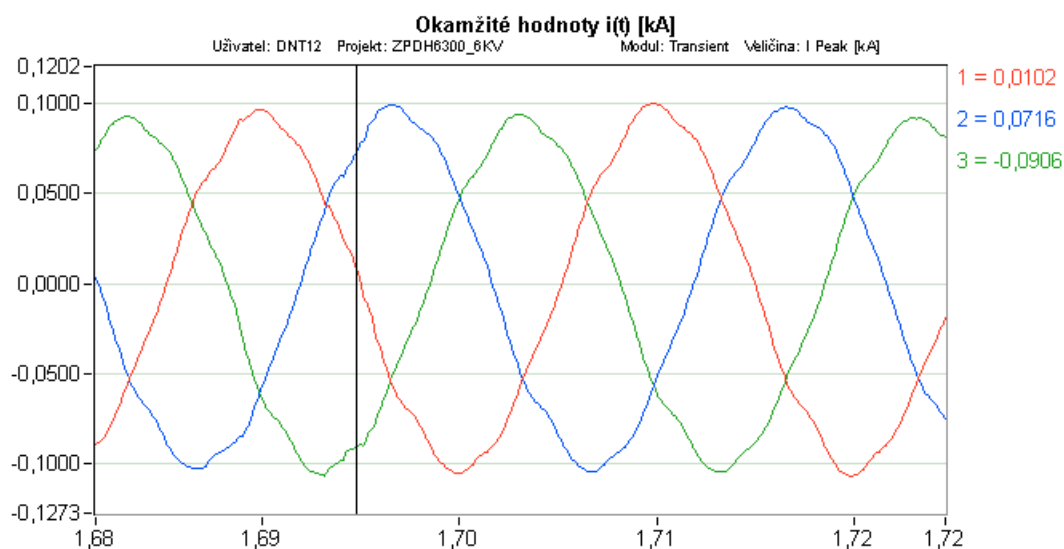
Obr. 4. 20. Okamžité hodnoty  $i(t)$  v soustavě **3 x 400V** při jízdě **ZP6300**



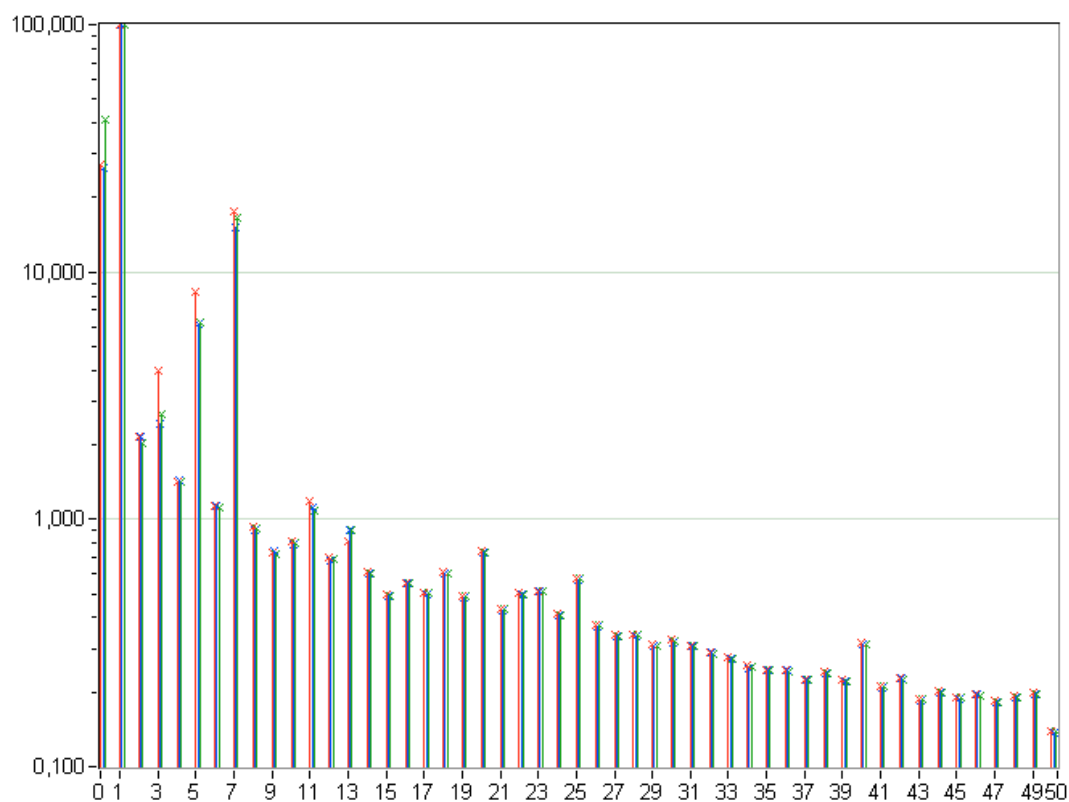
Obr. 4.21. Spektrum harmonických proudů v soustavě **3 x 400V** při jízdě **ZP6300**

Na obrázku 4.20 je vidět deformace proudové křivky, která je typická pro šestipulzní frekvenční měniče, které jsou použity pro pojezd zakladače.

Z obrázku 4.21 je vidět že při jízdě nám napájecí soustavu 3 x 400 V zatěžuje u proudů harmonickými vyššího řádu od 2. harmonické až po 50. harmonickou, z nichž nejvýznamnější jsou liché od 3. až po 25. harmonickou, které přesahují 10 % z velikosti první harmonické. Přitom 5. a 7. harmonická dosahuje až 60 %.



Obr. 4.22. Okamžité hodnoty  $i(t)$  v soustavě **3 x 6000V** při jízdě **ZP6300**



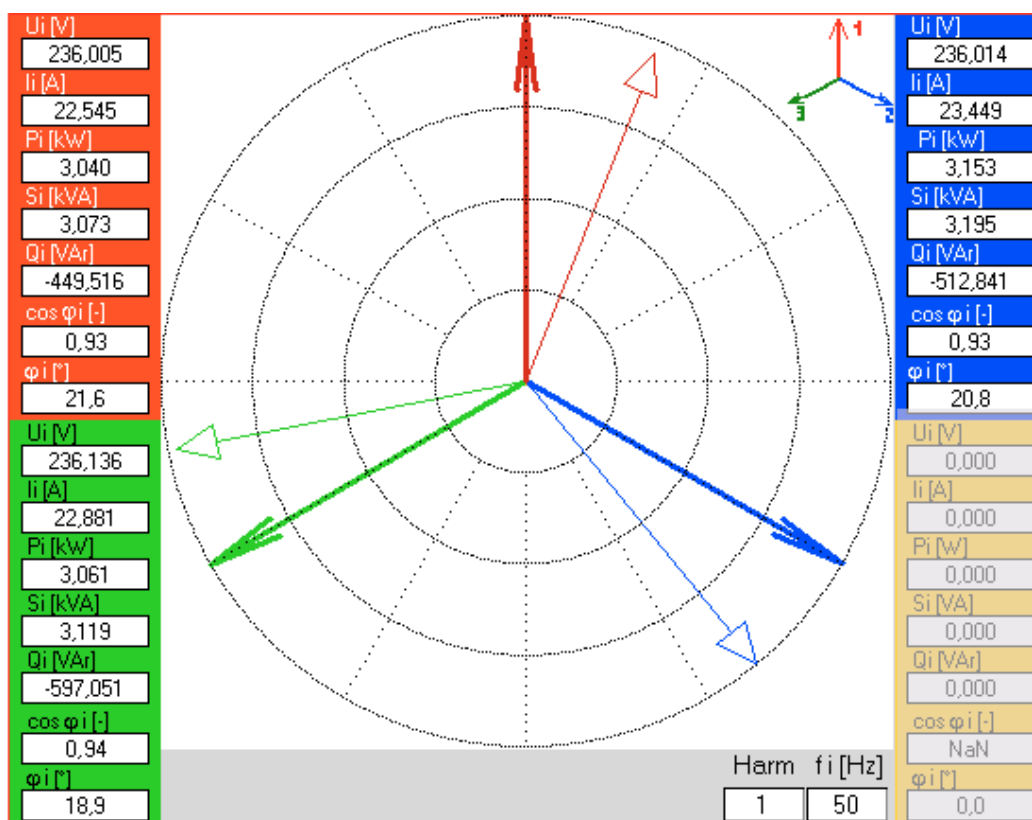
Obr. 4.23. Spektrum harmonických proudů v soustavě **3 x 6000V** při jízdě **ZP6300**

Z obrázků 4.22 a 4.23 je vidět že v napájecí soustavu 3 x 6000 V že harmonické vyššího řádu snížili znatelně svou hodnotu. Mezi nejvýznamnější patří 7 harmonická s téměř 20 % z velikosti první harmonické. Průběh proudové křivky je již podstatně méně deformován než na napětí 3 x 400 V.

Celkové zkreslení **proudu**  $\text{THD}_I$  v napěťové soustavě 3 x 400V dosahuje při jízdě zakladače až 65 % a v napěťové soustavě 3 x 6000V dosahuje hodnoty až 25 %.

#### 4.2.4 Účíník $\cos \varphi$

Měřením bylo dále prokázáno, že odběr elektrické energie byl uskutečňován s dobrým účínkem a to u ZP 6800 s  $\cos \varphi = 0,97$  (přívod 6kV) a 0,93 (500V), a u ZPDH 6300 s  $\cos \varphi = 0,97$  (6kV) a 0,96 (400V).



Obr. 4.24. Fázový posun v síti 3 x 400V při jízdě ZP6300

Z vektorskopu je patrné, že proud následuje za napětím, z čehož lze usoudit, že měřené zařízení (housenicový podvozek) má induktivní charakter. Dále můžeme vidět, že jak napětí tak proudy jsou přibližně stejně veliké, takže odběr elektrické energie je symetrický.

### 4.3 Porovnání naměřených hodnot

#### **ZP6800 (kráčivý podvozek) 500V**

<b>P(kW)</b>	<b>I (A)</b>	<b>Upokles (V)</b>	<b>fft U (%)</b> 7. harm	<b>fft I (%)</b> 7. harm	<b>THD U (%)</b>	<b>THD I (%)</b>
480	550	45	3 - 4	2 - 4	3,5 - 4,5	3 - 7

#### **ZPDH6300 (housenicový podvozek) 400V**

<b>P(kW)</b>	<b>I (A)</b>	<b>Upokles (V)</b>	<b>fft U (%)</b> 7. harm	<b>fft I (%)</b> 7. harm	<b>THD U (%)</b>	<b>THD I (%)</b>
28	50	10	1	40	1,2	60 - 70

*Tab. 4.1. Porovnání kráčivého a housenicového podvozku*

Jak je patrné ze srovnání naměřených hodnot, kráčivý podvozek odebírá několikanásobně vyšší výkon než housenicový podvozek.

Pokles napětí během chodu pohybového systému činí u kráčivého podvozku 9 % a u housenicového podvozku 2,25 %.

Výskyt harmonických je u napětí u obou velkostatrojů na dobré úrovni. U harmonických proudů na ZPDH 6300 je nutné řešit vstupní filtr frekvenčních měničů, neboť podíl harmonických proudů je hodně vysoký a vyšší harmonické proudy se prakticky vyskytují v celém sledovaném pásmu, což může způsobovat problémy s rušením ostatních elektrozařízení.

## 5 Závěr

Při porovnání odběrů během přesunu stroje u sledovaných zakladačů, se jeví jako výhodnější housenicový podvozek, který má přibližně 17 x nižší spotřebu, než kráčivý podvozek, což se odráží ve zpětném vlivu na napájecí síť. Velikost odebírané energie u kráčivého podvozku je dána nutností zvedání větší části hmotnosti zakladače, což nelze ovlivnit žádnou úpravou. Další nevýhodou u kráčivého podvozku jsou velké záběrové proudy a nerovnoměrnost odběru elektrické energie.

Z hlediska kolísání napětí vyhovují oba stroje požadavkům normy ČSN EN50160 a to ve všech měřených bodech.

Měřením bylo dále prokázáno, že odběr elektrické energie, porovnávaných zakladačů, byl po celou dobu měření uskutečňován s dobrým účínkem, takže není nutno řešit kompenzaci účinku.

Při provozu pohonu kráčení na ZP 6800 byl zjištěn v napájecí síti 6 kV zvýšený obsah 5. a 7. harmonické proudy. Tento stav by mohl mít za následek možnost vzniku poruch na řídicích systémech, transformátorech a elektromotorech, na kompenzačních bateriích, počítačových sítích a na funkčnost osvětlení apod. proto by bylo vhodné opatřit vstup zařízení filtrem na její potlačení. V tomto případě doporučuji filtr, který potlačí frekvenci od 250 do 350 Hz.

Při provozu pohonu housenicového podvozku hlavní stavby na ZPDH 6300 byl opět zjištěn v napájecí síti 6 kV zvýšený obsah 5. a 7. harmonické proudy, kdy 7. harmonická dosahuje hodnoty až 20% z 1. harmonické. Proto je opět vhodné opatřit přívod zakladače filtrem pro potlačení frekvence od 250 do 350 Hz.

Na napěťové hladině 3 x 400 V byl zjištěn výskyt 3. harmonická (30%), 5. harmonická(60%), 7.harmonická(55%), 9.harmonická(20%), 11.harmonická(45%), 13.harmonická(40%), 15.harmonická(10%), 17.harmonická(30%), 19.harmonická(25%), 23.harmonická(15%), 25.harmonická(15%). Celkové zkreslení signálu proudu  $THD_I$  je 65%.

Proto doporučuji řešit vstupní filtr frekvenčních měničů housenicového podvozku a to jako horní propust od 150Hz.

## Seznam použité literatury

### Monografie

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [2] SPD 31-1-12. *Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven: Navrhování elektroenergetických rozvodných zařízení v uhelných lomech*. 1. vyd. Teplice: Báňské projekty Teplice a.s., 2010.
- [3] SPD 31-7-707. *Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven: Pokyny pro navrhování silnoproudých rozvodů do 35kV AC*. 1. vyd. Teplice: Báňské projekty Teplice a.s., 2003.
- [4] SPD 31-7-702. *Elektrická zařízení uhelných lomů a úpraven: Rozvody elektrické energie*. 1. vyd. Teplice: Báňské projekty Teplice a.s., 2003.
- [5] VÍTKOVICE PRODECO, a.s. *Provozní dokumentace: Zakladač ZDPH 6300*. Teplice, 11.1999. arch. číslo T005 1005
- [6] VÍTKOVICE PRODECO, a.s. *Provozní dokumentace: Zakladač ZP 6800.1*. Teplice, 3.1989. arch. číslo T003 0114

### Elektronické zdroje

- [7] CHAPMAN, David. *Kvalita elektrické energie - průvodce: Harmonické příčiny a účinky* [online]. Velká Británie: Copper Development Association[cit. 2012-08-13]. Dostupné z: [http://www.medportal.sk/files/file/3\\_1\(1\).pdf](http://www.medportal.sk/files/file/3_1(1).pdf)